



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

**DINÂMICA DAS PRAIAS (ARTISTAS E ATALAIA) E DA  
LINHA DE COSTA CONTÍGUA À DESEMBOCADURA DO RIO  
SERGIPE, ARACAJU, SERGIPE**

Luciana Vieira de Jesus

Orientadora: Profa. Dra. Ana Cláudia da Silva Andrade

Co-orientador: Prof. Dr. José Maria Landim Dominguez

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias

São Cristóvão-SE  
2016

Luciana Vieira de Jesus

**DINÂMICA DAS PRAIAS (ARTISTAS E ATALAIA) E DA  
LINHA DE COSTA CONTÍGUAS À DESEMBOCADURA DO  
RIO SERGIPE, ARACAJU, SERGIPE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias da Universidade Federal de Sergipe, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geociências.

**Orientadora:** Dra. Ana Cláudia da Silva Andrade

**Co-orientador:** Dr. José Maria Landim Dominguez

São Cristóvão–SE  
2016

**DINÂMICA DAS PRAIAS (ARTISTAS E ATALAIA) E DA  
LINHA DE COSTA CONTÍGUAS À DESEMBOCADURA DO  
RIO SERGIPE, ARACAJU, SERGIPE**

por:

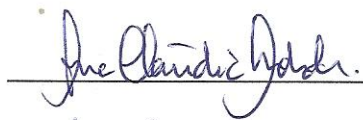
Luciana Vieira de Jesus  
(Geóloga, Universidade Federal de Sergipe – 2013)

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Submetida em satisfação parcial dos requisitos ao grau de:

**MESTRE EM GEOCIÊNCIAS**

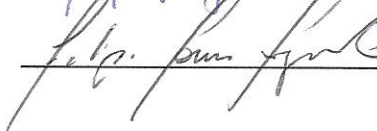
**BANCA EXAMINADORA:**



Dra. Ana Cláudia da Silva Andrade [Orientadora – UFS]



Dra. Aracy Sousa Senra [Membro Externo – UFS]



Dr. Felipe Torres Figueiredo [Membro Interno – UFS]

Data Defesa: 05/02/2016

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

Jesus, Luciana Vieira de

J58d      Dinâmica das praias (Artistas e Atalaia) e da linha de costa contíguas à desembocadura do Rio Sergipe / Luciana Vieira de Jesus ; orientador Ana Cláudia da Silva Andrade. – São Cristóvão, 2016.

76 f. : il.

Dissertação (mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Sergipe, 2016.

1. Geociências. 2. Erosão. 3. Sedimentos (Geologia). 4.Costa - Proteção. 5. Proteção ambiental. 6. Sergipe, Rio (SE). I. Andrade, Ana Cláudia da Silva, orient. II. Título.

CDU 550:502.17(813.7)

*"Dedico esse trabalho aos  
meus pais: minha fonte de  
inspiração."*

## **AGRADECIMENTOS**

À minha orientadora-mãe, Dra. Ana Cláudia da Silva Andrade, por sempre me estimular a aprender cada vez mais, pela paciência e pelos bons conselhos. Muito obrigada! Ao meu co-orientador, Dr. José Maria Landim Dominguez, que mesmo distante fisicamente, contribuiu para esse trabalho.

À banca examinadora, professores Dra. Aracy Senra e Dr. Felipe Figueiredo, pelas correções e sugestões feitas desde o Exame de Qualificação.

Aos professores do PGAB, em especial, os professores Dr. Herbet Conceição e Dra. Maria de Lourdes S. Rosa pelos ensinamentos passados nas disciplinas de Geociências I e II e também fora da sala de aula.

Aos colegas que participaram dos trabalhos de campo do projeto durante os anos de pesquisa ou que me auxiliaram no desenvolvimento do trabalho, em especial Fábio Nascimento, João Antônio, João Paulo Santos, Luisa Kolming, Victor Spinola, Ricardo Teles e Thaís Paixão. E aos demais que não conheci e nem convivi.

Por fim, mas não menos importante....

À Deus por me dar forças, sempre estar ao meu lado e me conceder tantos privilégios.

Aos meus pais pelos ensinamentos, conselhos, apoio e por sempre fazerem o possível e o impossível para que eu pudesse estudar e me tornar cada vez mais uma pessoa capacitada. Amo vocês. Obrigada!

À minha família: minha irmã Diana, meu irmão de coração Douglas, meus avós (em especial Vó Andrelina), tios, tias (em especial Luciene), primos e primas que também acreditaram e me apoiaram.

Aos amigos da graduação e do mestrado, em especial, Gabriela Menezes e Sanmy Lima. Sem vocês tudo seria mais difícil. Obrigada mesmo! Aos amigos do CODAP que mesmo distantes devido às mudanças de rumos continuam presentes na minha vida.

Agradeço ainda às novas colegas adicionadas à minha vida ao longo do período de graduação e mestrado: Taís Rodrigues e Manuela Gavazza. Muito obrigada pelo carinho.

Aos funcionários do PGAB e DGEOL, Ana Paula, Priscila, Daniela, Maria, Nalva, Rosa, entre outros, pelo carinho.

Essa dissertação de mestrado é produto do INCT Ambientes Marinhos Tropicais e do Laboratório de Geologia Costeira, Marinha e Ambiental - LACMA. Estendo meus agradecimentos, ainda, ao(à): PGAB/UFS, DGEOL/UFS, DGEO/UFS, CAPES (bolsa de mestrado), CNPq (projeto de pesquisa "Processos erosivos e deposicionais na Praia da Orlinha da Coroa do Meio-Atalaia Velha-Aracaju-SE, - Edital MCT/CNPq 14/2008 – Universal) e PRONEX-Geologia/UFS.

*"Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota."*

*(Madre Teresa de Calcutá)*



## RESUMO

As praias dos Artistas e da Atalaia, localizadas no município de Aracaju, Sergipe, estão sujeitas à atuação dos agentes costeiros (ondas, correntes e ventos) e da dinâmica da desembocadura do rio Sergipe. Nessas praias, no período de 2007 a 2008, ocorreram eventos erosivos severos que acarretaram na destruição de diversas estruturas antrópicas (praça de eventos, bares/restaurantes, etc.). Esses eventos erosivos motivaram a realização dessa dissertação de mestrado, cujo objetivo foi analisar a dinâmica das praias e da linha de costa contíguas à margem direita da desembocadura rio Sergipe em Aracaju. A metodologia consistiu em: (i) análise de perfis de praia e da variação no volume de sedimentos (2008 a 2015); (ii) análise multitemporal (2009 a 2015) da linha de preamar máxima (LPM) através de imagens de satélite; (iii) cálculo da taxa de variação da LPM; (iv) determinação de faixas de proteção à costa (*setback*); e (v) caracterização granulométrica e composicional dos sedimentos. As praias mostraram grande variabilidade morfológica, com alternância entre processos erosivos e deposicionais, com predominância de erosão na praia dos Artistas e de deposição na praia da Atalaia. A LPM, em todos os perfis, também variou significativamente, não seguindo uma tendência linear de avanço e/ou recuo. No período investigado (2008-2015) prevaleceram processos erosivos nos perfis 1, 2, 3 e 6 (-320, -150, -3,5 e -130 m<sup>3</sup>/m, respectivamente) e a LPM recuou, enquanto que, nos perfis 4 e 5 prevaleceram processos deposicionais (+162 e +485 m<sup>3</sup>/m, respectivamente) e a LPM progradou. As taxas de recuo da LPM na área investigada, que variaram de 0,5 a 13 m/ano, permitiram o estabelecimento de duas faixas de proteção: 360 m para construções leves e 730 m para construções pesadas. Além disso, os sedimentos que compõem as praias investigadas são de granulometria areia média, moderadamente selecionados e de composição, predominantemente, quartzosa. O conteúdo de minerais pesados nos sedimentos é baixo e representado, essencialmente, por ilmenita, zircão e rutilo. Essas características das praias e dos sedimentos são fundamentais em projetos de recuperação de praias através da alimentação artificial. Dessa forma, esse trabalho pode servir de subsídios para o planejamento urbano e ambiental da área de estudo.

**Palavras-chave:** Erosão, taxas de recuo, faixas de proteção, sedimentos.

## ABSTRACT

The Artistas and Atalaia beaches, located in Aracaju, Sergipe, are subject to coastal processes (waves, currents and winds) and Sergipe river mouth dynamics. At these beaches, from 2007 to 2008, severe erosive events resulted in the destruction of several anthropogenic structures (Praça de Eventos, bars/restaurants, etc.). These erosive events motivated the elaboration of this dissertation, whose the aim was to analyze these beaches morphology and its Sergipe river mouth coastline dynamics, in Aracaju. The methodology consisted of: (i) beach profile and sediments volume analysis (2008-2015); (ii) high tide shoreline (HTS) multi-temporal analysis (2009-2015) using satellite images; (iii) HTS change rate calculation; (iv) setbacks determination; and (v) textural and compositional sediments analysis. The beaches had great morphological variability, alternating between erosive and depositional processes, especially erosion on the Artistas' beach and deposition on the Atalaia's beach. The HTS in all profiles also varied significantly; it did not follow a linear trend of advance and/or retreat. In the investigated period (2008-2015), erosion prevailed in the 1, 2, 3 and 6 profiles (-320, -150, -3.5 and -130 m<sup>3</sup>/m, respectively) and HTS retreated, while in the 4 and 5 profiles prevailed depositional processes (+162 and +485 m<sup>3</sup>/m, respectively) and the HTS advanced. The HTS retreat rate, ranging from 0.5 to 13 m/year, allowed the establishment of two setbacks: 360 m for "lightweight" construction and 730 m for "heavy" constructions. Moreover, the investigated beaches sediments are mainly medium sand-sized particles, moderately sorted, and composed of quartz. The content of heavy minerals in sediments is low and represented mainly of ilmenite, zircon and rutile. These beaches and sediments characteristics are critical on beaches recovery projects of artificial feeding. Thus, this work offers subsidies for urban and environmental planning of the study area.

**Keywords:** Erosion, retreat rates, setbacks, sediments.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localização da área de estudo: praias contíguas à margem direita da desembocadura do rio Sergipe, município de Aracaju, Sergipe (quadrícula em vermelho).....03
- Figura 2. Localização das bacias hidrográficas dos rios que cortam o Estado de Sergipe. O município de Aracaju está inserido nas bacias dos rios Sergipe e Vaza-Barris. Fonte: <http://www.semarh.se.gov.br>.....07
- Figura 3. Geologia e geomorfologia do leste do Estado de Sergipe (municípios de Aracaju e Barra dos Coqueiros) segundo Bittencourt *et al.* (1983) e Santos *et al.* (2001). A área de estudo encontra-se delimitada pela quadrícula em vermelho.....08
- Figura 4. (A) Imagem de satélite da desembocadura do rio Sergipe com detalhe para as obras de contenção nas suas margens e o delta de maré vazante do rio; (B) Detalhe do enrocamento de rochas na praia dos Artistas, Aracaju, SE. O transporte longitudinal mostrado na imagem foi extraído de Oliveira (2003) e Rodrigues (2014). Fonte da imagem: *Google Earth Pro datum* SIRGAS 2000.....09
- Figura 5. Fotografia aérea oblíqua da área estudo, praias dos Artistas e da Atalaia, Aracaju. A retaguarda dessas praias encontra-se ocupada com prédios, casas, Orla de Atalaia (lagos, praça de eventos, pista de aerodelismo, etc.), entre outras estruturas antrópicas. Fonte da imagem: fotografia de Reginaldo C. Mota no ano de 2006.....10
- Figura 6. Área ocupada na retaguarda da praia dos Artistas (proximidade do farol e enrocamento de rochas) em um ponto onde estava ocorrendo erosão no ano de 2011. Fonte: acervo de projeto de pesquisa.....10
- Figura 7. Projeto da Prefeitura de Aracaju para a “Construção da Arena Multiuso na Orla de Atalaia – Aracaju/SE (Revitalização da 1ª Etapa da Orla da Coroa do Meio – Aracaju/SE)” iniciado em 2015. Fonte da imagem:

|   |    |
|---|----|
| arquivo Eduardo Carlomagno (Disponível em: <a href="http://www.aracaju.se.gov.br/index.php?act=leitura&amp;codigo=57895">http://www.aracaju.se.gov.br/index.php?act=leitura&amp;codigo=57895</a> ).....   | 11 |
| Figura 8. Exemplo de faixa proteção adotada na Turquia (Legislação de 1990 e 1992). Fonte: Adaptado de Cicin-Sain & Knecht (1998) por Muehe (2004).....   | 19 |
| Figura 9. Exemplos de faixas proteção adotadas na Carolina do Norte a partir de 1979. Fonte: Adaptado de Cicin-Sain & Knecht (1998) por Muehe (2004).....   | 20 |
| Figura 10. Localização dos perfis transversais realizados nas praias contíguas à margem direita da desembocadura do rio Sergipe.....  | 26 |
| Figura 11. Localização dos pontos de coleta de sedimentos para análise composicional (Am-1, Am-2, Am-3 e Am-4) e de minerais pesados (Am-M) nas praias dos Artistas e da Atalaia, Aracaju, SE. Os pontos foram plotados na linha de preamar máxima ( <i>high tide shoreline</i> ) do primeiro levantamento.....   | 27 |
| Figura 12. Envelope de perfis com as variações morfológicas no perfil 1. As linhas em preto indicam o primeiro levantamento de campo realizado em outubro de 2008 e as linhas em vermelho indicam o último levantamento de campo, em janeiro de 2013. As linhas em cinza indicam os perfis com datas intermediárias que foram plotados apenas para mostrar a grande variabilidade morfológica dos perfis..... | 32 |
| Figura 13. Modificações morfológicas no perfil 1: (A) Praia extensa e com berma em 2009; (B) Enrocamento de rochas parcialmente recoberto pela duna frontal parcialmente vegetada em 2009; (C) Escarpa na face de praia inferior em 2010; (D) Praia estreita e enrocamento de rochas exposto em 2012; Ausência de praia em (E) 2013 e (F) em 2015.....  | 33 |
| Figura 14. Mudanças na linha de costa ( <i>coastline</i> ) no perfil 1 no período analisado. (A) Em 2008: linha de costa consistia na linha de vegetação na base da duna frontal e, (B) em 2014: linha de costa consistia no enrocamento de rochas.....   | 34 |

Figura 15. Envelope de perfis com as variações morfológicas no perfil 2. As linhas em preto indicam o primeiro levantamento de campo realizado em outubro de 2008 e as linhas em vermelho indicam o último levantamento de campo, em fevereiro de 2014. As linhas em cinza indicam os perfis com datas intermediárias que foram plotados apenas para mostrar a grande variabilidade morfológica dos perfis.....35

Figura 16. Modificações morfológicas no perfil 2: (A) Pós-praia largo em 2009; (B) Duna frontal vegetada em 2010; (C) Escarpa na duna frontal em 2011; (D) Pós-praia estreito e concentração de minerais máficos na face de praia em 2012; (E) Praia com berma escarpada em 2015, (F) Canaleta e banco na face de praia em 2014.....36

Figura 17. Mudanças na linha de costa (*coastline*) no perfil 2 no período analisado. (A) Em 2009: linha de costa consistia na linha de vegetação na base da duna frontal e, (B) em 2014: linha de costa consistia na escarpa no aterro.....37

Figura 18. Envelope de perfis com as variações morfológicas no perfil 3. A linha em preto indica o primeiro levantamento de campo realizado em outubro de 2008 e a linha em vermelho indicam o último levantamento de campo, em julho de 2015. As linhas em cinza indicam os perfis com datas intermediárias que foram plotados apenas para mostrar a grande variabilidade morfológica dos perfis.....38

Figura 19. Modificações morfológicas no perfil 3: (A) Pós-praia largo e com declividade suave em 2009; (B) Pós-praia com berma e face de praia com canaleta e banco em 2009; (C) Face de praia íngreme e escarpada em 2009; (D) Escarpa na face de praia em 2010; (E) Pós-praia estreito e “lavado” em 2013; e (F) sedimentos do pós-praia mostraram evidências de intenso retrabalhamento pelo vento em 2015.....39

Figura 20. Mudanças na linha de costa (*coastline*) no perfil 3 no período analisado. (A) Em 2009: limite entre estrutura antrópica e a praia, com desnível e (B) em 2015: limite entre a estrutura antrópica e a praia, recoberto por sedimentos retrabalhados pelo vento.....40

- Figura 21. Envelope de perfis com as variações morfológicas no perfil 4. A linha em preto indica o primeiro levantamento de campo realizado em outubro de 2008 e a linha em vermelho indicam o último levantamento de campo, em julho de 2015. As linhas em cinza indicam os perfis com datas intermediárias que foram plotados apenas para mostrar a grande variabilidade morfológica dos perfis.....41
- Figura 22. Modificações morfológicas no perfil 4: (A) Pós-praia estreito em 2009; (B) Pós-praia largo em 2010; (C) Berma bem desenvolvido em 2010; (D) Escarpa na retaguarda da praia e destruição de estruturas antrópicas e amendoeira em 2012; (E) Estabilização da escarpa e aumento da largura do pós-praia em 2015 e (F) Presença de canaletas e bancos na praia.....42
- Figura 23. Mudanças na linha de costa (*coastline*) no perfil 4 no período analisado. (A) Em 2009: base da escarpa inativa esculpida na estrutura antrópica, com indícios de erosão pretérita e (B) em 2015: base da escarpa.....43
- Figura 24. Envelope de perfis com as variações morfológicas no perfil 5. A linha em preto indica o primeiro levantamento de campo realizado em outubro de 2008 e a linha em vermelho indicam o último levantamento de campo, em julho de 2015. As linhas em cinza indicam os perfis com datas intermediárias que foram plotados apenas para mostrar a grande variabilidade morfológica dos perfis.....44
- Figura 25. Modificações morfológicas no perfil 5: (A) Ausência de praia e erosão da praça de Eventos em meados 2008; (B) Pós-praia plano em 2009; (C) Pós-praia com berma em 2009; (D) Duna frontal vegetada na retaguarda do pós-praia em 2013.....45
- Figura 26. Mudanças na linha de costa (*coastline*) no perfil 5 no período analisado. (A) Em 2009: limite entre a pista erodida da praça de eventos e a praia e (B) em 2015: base da duna frontal vegetada.....46
- Figura 27. Envelope de perfis com as variações morfológicas no perfil 6. A linha em preto indica o primeiro levantamento de campo realizado em outubro

de 2008 e a linha em vermelho indicam o último levantamento de campo, em julho de 2015. As linhas em cinza indicam os perfis com datas intermediárias que foram plotados apenas para mostrar a grande variabilidade morfológica dos perfis.....47

Figura 28. Modificações morfológicas no perfil 6: (A) Escarpa no pós-praia em 2009; (B) Escarpa na duna frontal vegetada e ausência de pós-praia em 2009; (C) Duna frontal vegetada estabilizada sem indicio de erosão em 2011; (D) Pós-praia estreito e linha de preamar máxima próxima à duna frontal em 2015.....48

Figura 29 Mudanças na linha de costa (*coastline*) no perfil 6 no período analisado. (A) Em 2009: base da escarpa na duna frontal vegetada (visada pra Norte) e (B) em 2015: base da duna frontal vegetada (visada para Sul).....49

Figura 30. Variação no volume de sedimentos em cada perfil no período investigado. Para os perfis 1 e 2, os períodos de levantamento de campo foram de outubro de 2008 a janeiro de 2013 e de outubro de 2008 a fevereiro de 2014, respectivamente. Para os demais perfis, os levantamentos foram realizados para o período de outubro de 2008 a julho de 2015.....49

Figura 31. Comportamento da linha de preamar máxima nas praias contíguas à desembocadura do rio Sergipe, Aracaju, Sergipe no período de 2009 a 2015. Fonte: Imagem de satélite do *Google Earth Pro* do ano de 2015.....52

Figura 32. Séries temporais de mudanças na configuração da linha preamar máxima (*high tide shoreline*) – LPM, nos 6 perfis levantados nas praias dos Artistas e da Atalaia, Aracaju, SE. Os gráficos foram elaborados para os períodos de outubro de 2008 a janeiro de 2013 e de outubro de 2008 a fevereiro de 2014, para os perfis 1 e 2, respectivamente. Para os demais perfis, os gráficos foram elaborados para o período de outubro de 2008 a julho de 2015. A reta conecta os pontos iniciais e finais utilizados no cálculo da taxa de variação da LPM pelo método EPR descrito por Dolan *et al.*

(1991). Os demais pontos representam as medições da LPM obtidos nos períodos intermediários e foram plotados apenas para mostrar a grande variabilidade dessa linha nos perfis no decorrer do tempo.....53

Figura 33. Faixa de proteção (*setback*) para construções leves (A) e para construções pesadas (B) proposta nesse trabalho. Observe que essas faixas recobrem áreas ocupadas. Nesse caso, sugere-se apenas não construir mais nessas aéreas. Fonte da imagem: Imagem de satélite do *Google Earth Pro* do ano de 2015.....55

Figura 34. Afundamento do aterro atrás do enrocamento de rochas no perfil 1 em 2014. Fonte da imagem: acervo de projeto de pesquisa.....56

Figura 35. Tamanho médio dos grãos dos sedimentos nos perfis levantados na praia contíguas à margem direita da desembocadura do rio Sergipe. O gráfico foi elaborado para os períodos de outubro de 2008 a janeiro de 2013 e de outubro de 2008 a fevereiro de 2014, para os perfis 1 e 2, respectivamente. Para os demais perfis, o gráfico foi elaborado para o período de outubro de 2008 a julho de 2015.....56

Figura 36. Selecionamento dos sedimentos nos perfis levantados na praia contíguas à margem direita da desembocadura do rio Sergipe. O gráfico foi elaborado para os períodos de outubro de 2008 a janeiro de 2013 e de outubro de 2008 a fevereiro de 2014, para os perfis 1 e 2, respectivamente. Para os demais perfis, o gráfico foi elaborado para o período de outubro de 2008 a julho de 2015.....57

Figura 37. Gráfico com a composição mineralógica (em percentual) dos sedimentos das Praias dos Artistas e da Atalaia nos trabalhos de campo de agosto de 2012 (inverno chuvoso) e de fevereiro de 2013 (verão seco)....58

Figura 38. Gráfico com o percentual dos minerais pesados presentes nos sedimentos da praia dos Artistas, obtidos a partir da análise no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).....59



- Figura 39. Imagem de alguns minerais pesados encontrados nos sedimentos da praia dos Artistas (Am-M). A obtenção da imagem foi feita a partir da microscopia eletrônica de varredura (MEV) utilizando o detector EDS.....59
- Figura 40. Escarpa erosiva circular formada na face de praia do perfil 1 em agosto de 2009 (visada pra Sul) e em setembro de 2010 (visada para Norte). Fonte: acervo de projeto de pesquisa.....60
- Figura 41. Mudanças morfológicas na região adjacente ao enrocamento de rochas da praia dos Artistas. Praia larga em 2009 (A), Praia larga e início da geração da feição erosiva circular em 2010 (quadrícula em vermelho) (B), feição circular bem desenvolvida em 2011, (C), Recuo da feição erosiva circular em 2013 (D), ausência de praia em 2013 (E) e em 2015(F). As setas em amarelo indicam a corrente de retorno gerada nas proximidades do enrocamento de rochas. Fonte das imagens: imagens de satélite do *Google Earth Pro*.....63
- Figura 42. Modificações morfológicas da praia no perfil 1: (A) pós-praia "lavado" em 2009, (B) praia larga com o enrocamento de rochas recoberto por sedimentos retrabalhados pelo vento em 2009, (C) escarpa na face de praia em 2010, (D) ausência de praia em 2011, (E) início de recuperação natural da praia (pequena profundidade da água próxima ao enrocamento de rochas) em setembro de 2015, e (F) recuperação natural da praia em dezembro de 2015. Todas as fotos foram tiradas na maré baixa de sizígia. Fonte: acervo de projeto de pesquisa.....64

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1. Variação no volume de sedimentos em cada período analisado. Os valores estão expressos em m <sup>3</sup> /m (metros cúbicos por metro linear de linha de costa)..... | 50 |
| Tabela 2. Comparação entre os dados de taxa de variação da linha de preamar máxima (LPM) obtidos a partir de imagens de satélite e perfis de praia.....                        | 52 |
| Tabela 3. Valores de faixas de proteção calculadas para cada perfil a partir das taxas de recuo da linha de preamar máxima no período de 2008 a 2015.....                      | 55 |

## LISTA DE SIGLAS

|               |  |
|---------------|--|
| ANA.....      | Agência Nacional de Águas  |
| CAPES.....    | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior              |
| CNPq.....     | Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico            |
| DEADP.....    | Departamento de Assuntos Ambientais e Planejamento do<br>Desenvolvimento |
| DGEOL.....    | Departamento de Geologia   |
| DHN.....      | Diretoria de Hidrografia e Navegação                                     |
| E.....        | Leste  |
| EDS.....      | Sistema de Energia Dispersiva (Eletron Dispersive System)                |
| EMURB/AJU.... | Empresa Municipal de Obras e Urbanização                                 |
| EPR.....      | Taxa de Variação do Ponto de Terminação (End Point Rate)                 |
| GC1.....      | Grupo de Bacias Costeiras 1  |
| GC2.....      | Grupo de Bacias Costeiras 2  |
| GPS.....      | Sistema de Posicionamento Global (Global Positional System)              |
| INMET.....    | Instituto Nacional de Meteorologia                                       |
| LC.....       | Linha de Costa   |
| LPM.....      | Linha de Preamar Máxima  |
| MEV.....      | Microscópio Eletrônico de Varredura                                      |
| MTur.....     | Ministério do Turismo  |
| N.....        | Norte  |
| NE.....       | Nordeste   |
| PGAB.....     | Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de<br>Bacias          |

SIRGAS 2000..South American Datum

SE.....Sudeste ou Sergipe

SEMARH.....Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos

SRH.....Superintendência de Recursos Hídricos

SW.....Sudoeste

UFS.....Universidade Federal de Sergipe

UTM.....Universal Transverse de Mercator

## SUMÁRIO

### CAPÍTULO 1

|                    |    |
|--------------------|----|
| 1. Introdução..... | 01 |
|--------------------|----|

### CAPÍTULO 2

|  |    |
|--|----|
| 2. Caracterização Regional e Área de Estudo..... | 04 |
| 2.1. Caracterização Regional.....                | 04 |
| 2.2. Área de Estudo.....                         | 05 |

### CAPÍTULO 3

|   |    |
|---|----|
| 3. Referencial Teórico.....   | 12 |
| 3.1. Variações morfológicas: perfis de praia e volume de sedimentos.....  | 12 |
| 3.2. Taxa de variação da linha de preamar máxima ( <i>high tide shoreline</i> ) e faixas de proteção à costa ( <i>setbacks</i> )..... | 15 |
| 3.3. Características dos sedimentos (textura e composição) e projetos de alimentação artificial da praia.....                         | 20 |
| 3.4. Causas de erosão praial e costeira.....  | 22 |

### CAPÍTULO 4

|  |    |
|--|----|
| 4. Materiais e Métodos.....  | 25 |
| 4.1. Levantamento Bibliográfico.....   | 25 |
| 4.2. Trabalhos de Campo.....   | 25 |
| 4.3. Análise dos dados de perfis de praia e cálculo do volume de sedimentos (2008-2015)..... | 27 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 4.4. | Análise multitemporal da linha de preamar máxima ( <i>high tide shoreline</i> ) a partir das imagens de satélite (2009-2015).....                    | 28 |
| 4.5. | Cálculo da taxa de variação da linha de preamar máxima ( <i>high tide shoreline</i> ) obtida a partir dos perfis de praia e imagens de satélite..... | 28 |
| 4.6. | Determinação de faixas de proteção à costa ( <i>setback lines</i> ).....   | 29 |
| 4.7. | Análise dos sedimentos praias: textura e composição.....   | 29 |
| 4.8. | Integração e interpretação dos dados.....  | 30 |

## **CAPÍTULO 5**

|      |  |    |
|------|--|----|
| 5.   | Resultados e Discussões.....   | 31 |
| 5.1. | Variações morfológicas: perfis de praia e volume de sedimentos.....                                    | 31 |
| 5.2. | Taxa de variação da linha de preamar máxima a curto prazo e faixas de proteção ( <i>setback</i> )..... | 48 |
| 5.3. | Características dos sedimentos: textura e composição.....  | 54 |
| 5.4. | Possíveis causas das variações morfológicas e da linha de costa das praias dos Artistas e Atalaia..... | 58 |

## **CAPÍTULO 6**

|    |                           |    |
|----|---------------------------|----|
| 6. | Considerações Finais..... | 65 |
|----|---------------------------|----|

|  |           |
|--|-----------|
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b> | <b>68</b> |
|--|-----------|

# **CAPÍTULO 1**

## **1 Introdução**

As praias arenosas são ambientes altamente dinâmicos e sensíveis, pois os sedimentos que as compõem estão constantemente se movendo, gerando novas feições morfológicas e modificando a posição da linha de costa (Komar 1998, Short 1999, Boak & Turner 2005, Farris & List 2007, Bird 2008, Absalonsen & Dean 2011). O ambiente praial tende a alcançar um “equilíbrio dinâmico” com as condições ambientais do meio, ou seja, com os processos costeiros atuantes (ondas, correntes, marés, descarga fluvial, etc.) e as características texturais dos sedimentos (Komar 1998, Trindade 2010). Qualquer modificação nos processos irá alterar as características morfológicas e sedimentológicas da praia (Komar 1998).

O monitoramento da praia e da linha de costa e, das características texturais dos sedimentos é utilizado para quantificar a sua morfodinâmica. Existem diversas formas de abordagem do estudo da dinâmica da praia e da linha de costa, são estas: perfis de praia (Emery 1961, Smith & Zarillo 1991, Silva *et al.* 2008, Guedes *et al.* 2009), análises multitemporais utilizando fotografias aéreas ou imagens de satélite (Crowell *et al.* 1991, Esteves *et al.* 2006, Rodrigues *et al.* 2015a), geoindicadores de erosão e acumulação (Bush *et al.* 1999, Silva 2014) e caracterização textural e composicional dos sedimentos (Bittencourt 1992, Nordstrom 2010, Marino *et al.* 2013, Jesus & Andrade 2013, Jesus *et al.* 2014a).

As mudanças na dinâmica das praias podem ocorrer em diferentes escalas de tempo (dias, meses e anos). Para analisar essas mudanças é necessário determinar a escala de tempo que se pretende estudar, a fim de escolher a técnica para aquisição e utilização dos dados (Trindade 2010). Os estudos da dinâmica da praia e da linha de costa a longo e médio prazos, em geral, utilizam mapas, cartas náuticas, fotografias aéreas ou imagens de satélite. A dinâmica de curto prazo é tipicamente analisada utilizando-se levantamentos sequenciais de perfis de praia (Smith & Zarillo 1991, Morton 1996, Trindade 2010).

Na costa do estado de Sergipe, as variações na linha de costa foram observadas e medidas em médio prazo, através da sobreposição de imagens de satélite e/ou fotografias aéreas de diferentes datas por Oliveira (2003), Bittencourt *et al.* (2006), Santos & Andrade (2013) e Rodrigues *et al.* (2015) e através de geoindicadores por Oliveira (2003) e Silva (2014). Por outro lado, a morfologia das praias próximas à desembocadura do rio Sergipe, município de Aracaju, foi analisada a partir de perfis de praia por Andrade *et al.* (2010), Jesus & Andrade (2011) e Jesus *et al.* (2014b).

As praias contíguas à margem direita da desembocadura do rio Sergipe, município de Aracaju, Sergipe, constituem o objeto de estudo dessa dissertação de mestrado (Figura 1). Nestas praias, nos períodos de 2007 a 2008 ocorreram eventos erosivos severos que atingiram e destruíram diversas estruturas urbanas como bares/restaurantes, praça de eventos, etc. (Vieira 2008) situadas próximas à linha de costa. Novos eventos erosivos ocorreram no ano de 2012 e ocasionaram o recuo da linha de costa (Jesus *et al.* 2014b). Esses eventos erosivos motivaram o desenvolvimento dessa dissertação de mestrado.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi compreender a dinâmica da praia e da linha de costa nas praias dos Artistas e Atalaia, Aracaju, Sergipe em curto prazo (2008 a 2015).

O monitoramento da praia e da linha de costa é importante para a compreensão dos processos costeiros e para auxiliar nas possíveis ações de gestão da costa, evitando os riscos costeiros (*e.g.* estabelecimento de faixas de proteção, Douglas & Crowell 2000, Muehe 2004, DEA & DP 2010) ou na recuperação das áreas que já apresentam erosão severa (*e.g.* alimentação artificial, Nordstrom 2010; Trindade 2010; Absalonsen & Dean 2011). Dessa forma, um estudo integrando dados de perfis de praia, análise multitemporal da linha de costa e características texturais e composicionais dos sedimentos permitirá uma melhor compreensão da dinâmica da área de estudo e, dará subsídio ao seu planejamento urbano e ambiental.



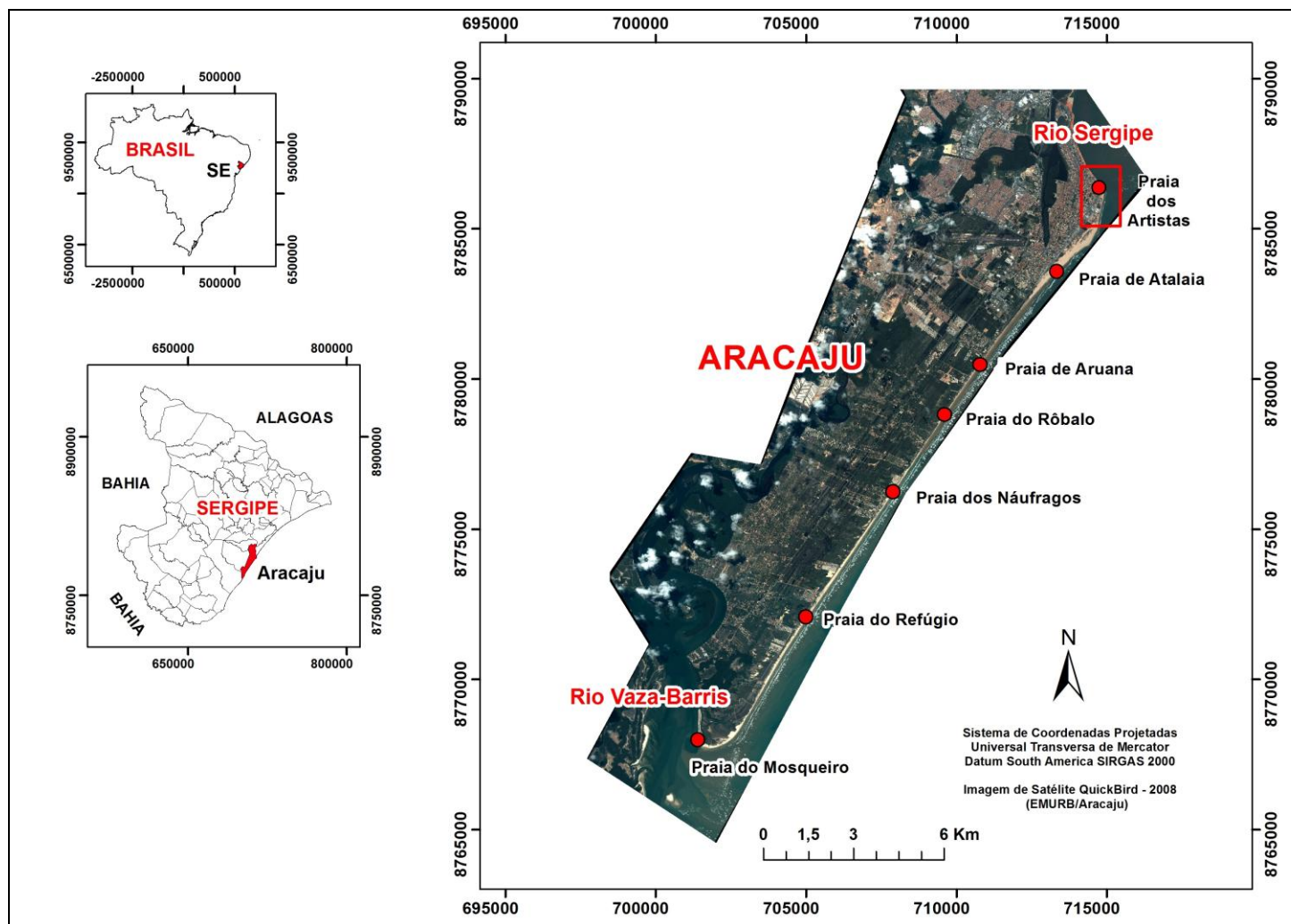


Figura 1 – Localização da área de estudo: praias contíguas à margem direita da desembocadura do rio Sergipe, município de Aracaju, Sergipe (quadrado em vermelho).

## **CAPÍTULO 2**

### **2 Caracterização Regional e Área de Estudo**

#### **2.1 Caracterização Regional**

O litoral do estado de Sergipe apresenta cerca de 150 km de extensão e é caracterizado por praias dissipativas a intermediárias (Oliveira 2003) e em forma de arcos. Essas praias são interrompidas pelos estuários dos rios Vaza-Barris, Japaratuba e Sergipe. Nas divisas com os estados da Bahia (a sul) e Alagoas (a norte), o litoral é interrompido pelo estuário dos rios Piauí e Real, e pelo delta do rio São Francisco, respectivamente.

Esses rios fazem parte de 6 bacias hidrográficas. Além dessas bacias, recentemente foram estabelecidas duas novas bacias (Figura 2): Grupos de Bacias Costeiras 1 e 2 (GC1 e GC2), totalizando assim, 8 bacias no estado (SEMARH 2015). Com exceção do rio São Francisco, que apresenta vazão média de 1.780 m<sup>3</sup>/s, os demais rios apresentam vazões médias pouco expressivas, em torno de 10,60 a 22,92 m<sup>3</sup>/s (ANA 2000).

A geologia das bacias hidrográficas do estado engloba os ortognaisses migmatíticos e granulitos do "Cráton do São Francisco", as rochas metamórficas e granitóides da "Província Borborema", as bacias sedimentares (SE-AL e Tucano) e formações superficiais da "Província Costeira" e as lamais, areias e cascalhos da "Margem Continental" (Almeida 1977).

O compartimento "Província Costeira" do estado de Sergipe, denominado por Almeida (1977), corresponde à planície costeira nesse trabalho (Figura 3). A configuração dessa planície é resultante, principalmente, das variações relativas do nível do mar (episódios de transgressão e regressão marinha), ocorridas durante o Quaternário (Bittencourt *et al.* 1983) e do aporte sedimentar dos rios. Essa planície inclui sedimentos quaternários de idades pleistocênica e holocênica e, engloba as seguintes unidades geológico-geomorfológicas: terraços marinhos, depósitos flúvio-lagunares, depósitos de mangue, leques aluviais, depósitos eólicos (Bittencourt *et al.* 1983) e praias atuais. Esses depósitos evidenciam a tendência geral da linha de costa do estado que foi de

progradação em função da regressão marinha ocorrida ao longo do Quaternário (Dominguez & Bittencourt 1996).

O litoral do município de Aracaju, Sergipe, apresenta uma faixa quase retilínea, que se estende por cerca de 24 km e compreende as praias do Mosqueiro, Náufragos, Refúgio, Robalo, Aruana, Atalaia e dos Artistas. É limitado a sul pela desembocadura do rio Vaza-Barris e a norte pela desembocadura do rio Sergipe (Figura 1). A linha de costa do município, que apresenta orientação predominante NE-SW, é bordejada por terraços marinhos holocênicos, depósitos de mangue e depósitos eólicos (Bittencourt *et al.* 1983).

O clima do litoral de Aracaju é quente e úmido, com temperatura média anual de 27°C. Há duas estações bem definidas: período seco, que ocorre nos meses mais quentes (janeiro e fevereiro), e período úmido que ocorre durante os meses com temperaturas mais amenas (junho e julho) (INMET 2015). A precipitação média total é de cerca de 1.600 mm/ano (SRH 2015). Os ventos predominantes no litoral de Aracaju são advindos do quadrante leste (NE, E e SE). Os ventos de SE ocorrem predominantemente no período chuvoso, enquanto que os ventos de NE e E ocorrem com maior frequência no período seco (INMET 2015).

As marés são semi-diurnas, com amplitudes que variam de 0,6 m na quadratura a 2,3 m na sizígia (DHN 2016). As ondas que chegam ao litoral de Sergipe possuem direções predominantes de E, NE, SE e N e alturas que variam de 1 a 3 m, a depender da estação do ano (Pianca *et al.* 2010). Por conta disso, o sentido da corrente longitudinal de sedimentos no litoral do estado é predominantemente de NE para SW (Oliveira 2003).

## **2.2 Área de estudo**

A área de estudo desse trabalho, situada na margem direita da desembocadura do rio Sergipe, no município de Aracaju, Sergipe, compreende as praias dos Artistas e da Atalaia (coordenadas UTM: 715125 E e 8786266 N), e apresenta cerca de 1,5 km de extensão (Figura 1).

A linha de costa dessa área apresentou expressiva progradação a partir de 1965 (Rodrigues *et al.* 2015a) e, apesar disso, foi considerada como de elevada

variabilidade por Oliveira (2003), Bittencourt *et al.* (2006) e Rodrigues *et al.* (2015a).

Eventos erosivos ocorridos na área são anteriores a 1990 e foram associados à migração do canal do rio Sergipe para sul (Oliveira 2003) e à dinâmica do delta de maré vazante (Rodrigues *et al.* 2015b).

Segundo Rodrigues *et al.* (2015b) ocorre passagem (*bypass*) de sedimentos, no sentido do transporte longitudinal predominante (NE-SW), devido à presença de acumulação de sedimentos semelhante aos deltas de maré vazante (*ebb tidal deltas*). Entretanto, em toda a extensão das praias dos Artistas e da Atalaia, o sentido predominante é de SW-NE (Rodrigues 2014).

Por conta da erosão costeira, entre os anos de 1990 e 2000, obras de contenção à erosão foram realizadas nas margens do rio Sergipe para fixá-las (Wanderley 2006). Dessa forma, tanto a praia da Atalaia Nova, Barra dos Coqueiros, quanto à praia dos Artistas, Aracaju, foram contempladas com essas obras (Figura 4). Recentemente, em 2007 e 2008 (Vieira 2008) e em 2012 e 2013 (Jesus *et al.* 2014b) ocorreram novos eventos erosivos nas praias dos Artistas e da Atalaia.

A retaguarda da área de estudo encontra-se ocupada com obras antrópicas: Orla de Atalaia (bares, pista de aeromodelismo, pista de skate, lagos, oceanário), casas, prédios, etc., construídos próximos à linha de costa (Figuras 5 e 6). Nos últimos 5 anos, devido à especulação imobiliária, essa ocupação foi intensificada e verticalizada. Atualmente, a prefeitura de Aracaju está realizando um projeto de revitalização da Orla de Atalaia ("Construção da Arena Multiuso na Orla de Atalaia – Aracaju/SE (Revitalização da 1ª Etapa da Orla da Coroa do Meio – Aracaju/SE)" – Edital CP 12/2014, recursos do Ministério do Turismo), anunciado no início do ano de 2014 (MTur 2013) e iniciada em 2015 (Figura 7). Essas obras estão sendo realizadas mesmo após a região ter sido alvo de eventos erosivos nos anos de 2007- 2008 e 2012-2013. Dessa forma, sem levar em consideração a dinâmica da praia e da linha de costa da área.

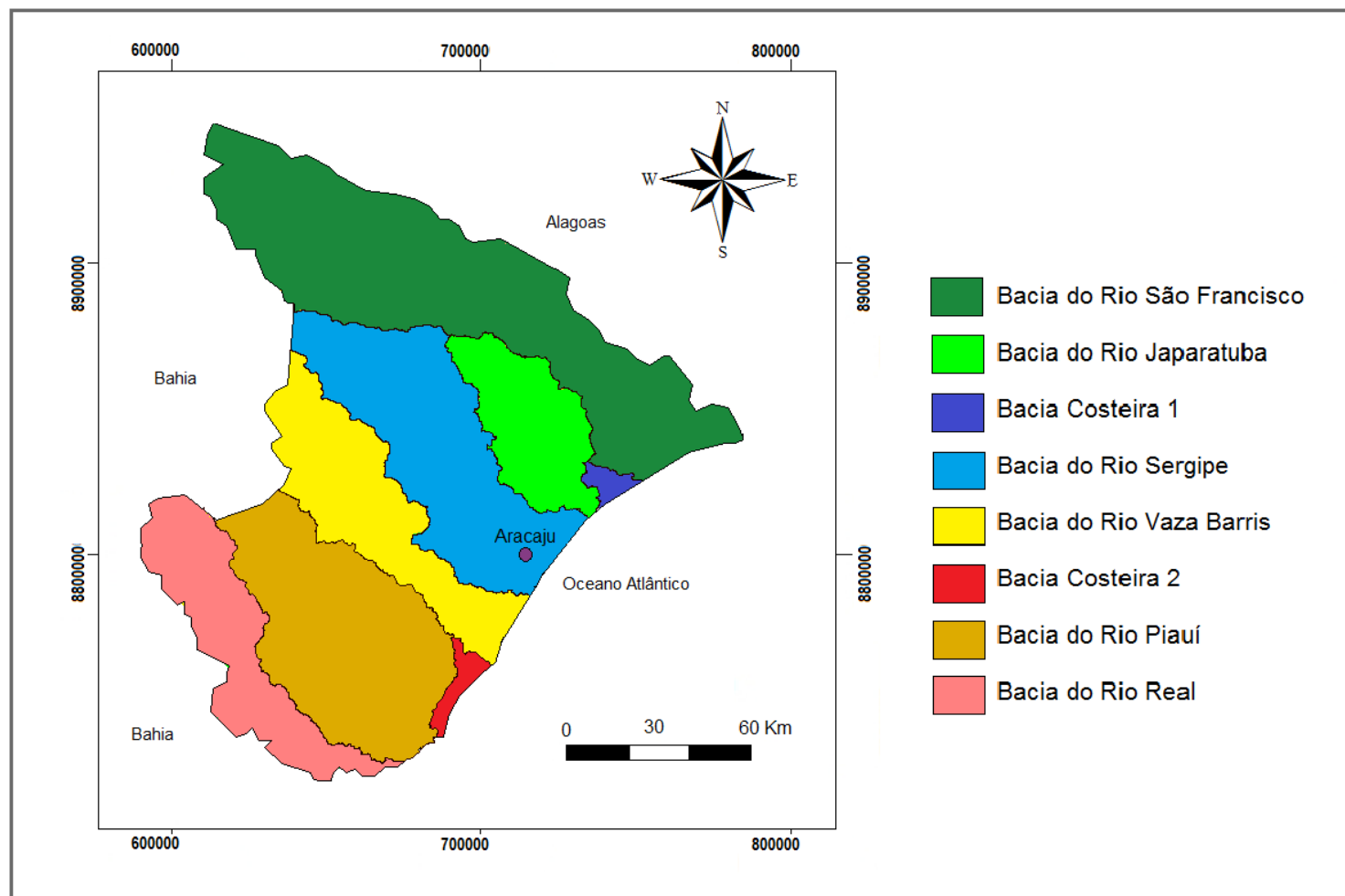


Figura 2. Localização das bacias hidrográficas dos rios que cortam o Estado de Sergipe. O município de Aracaju está inserido nas bacias dos rios Sergipe e Vaza-Barris. Fonte: <http://www.semarh.se.gov.br>.

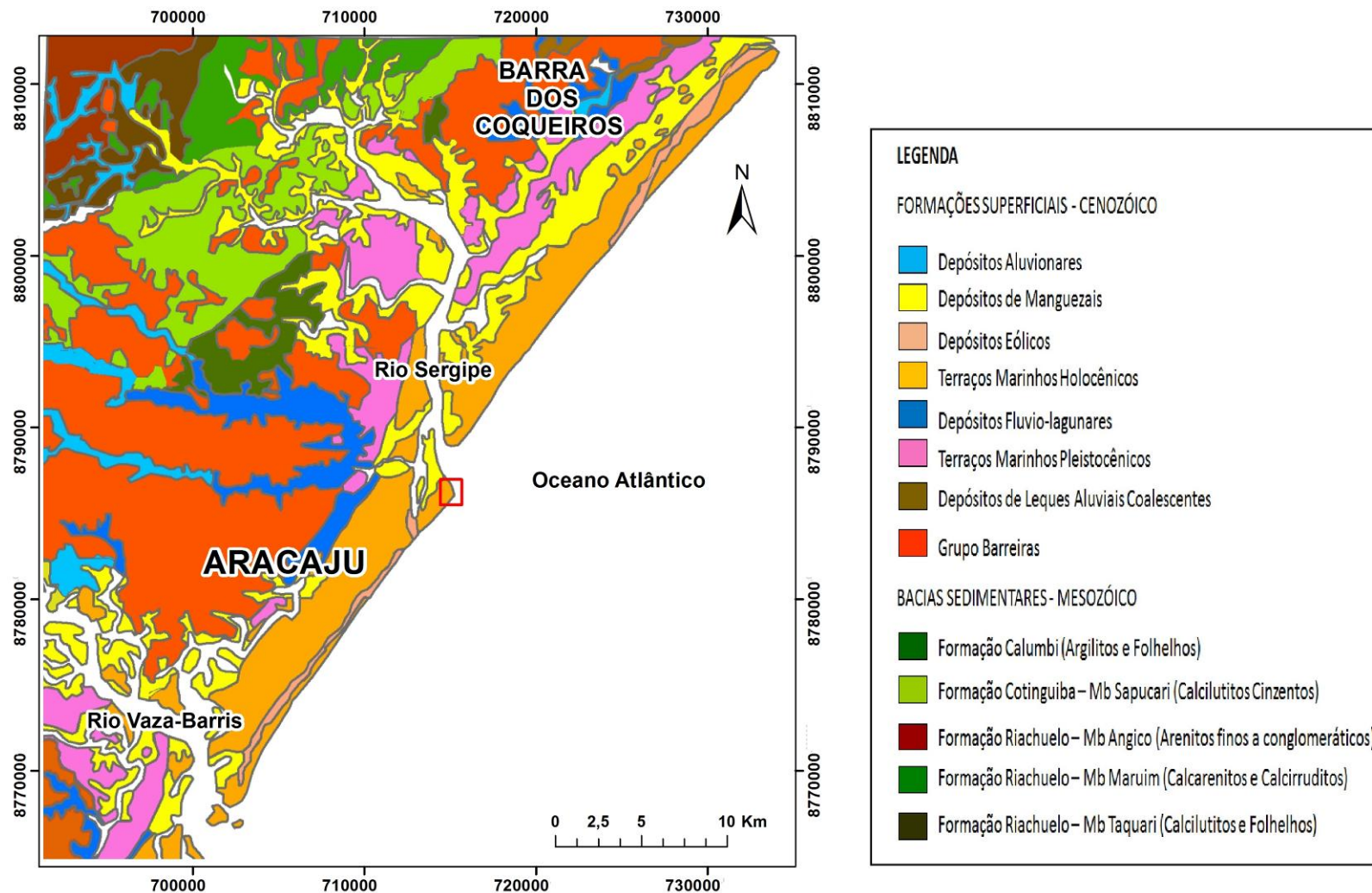


Figura 3. Geologia e geomorfologia do leste do Estado de Sergipe (municípios de Aracaju e Barra dos Coqueiros) segundo Bittencourt *et al.* (1983) e Santos *et al.* (2001). A área de estudo encontra-se delimitada pela quadrícula em vermelho.



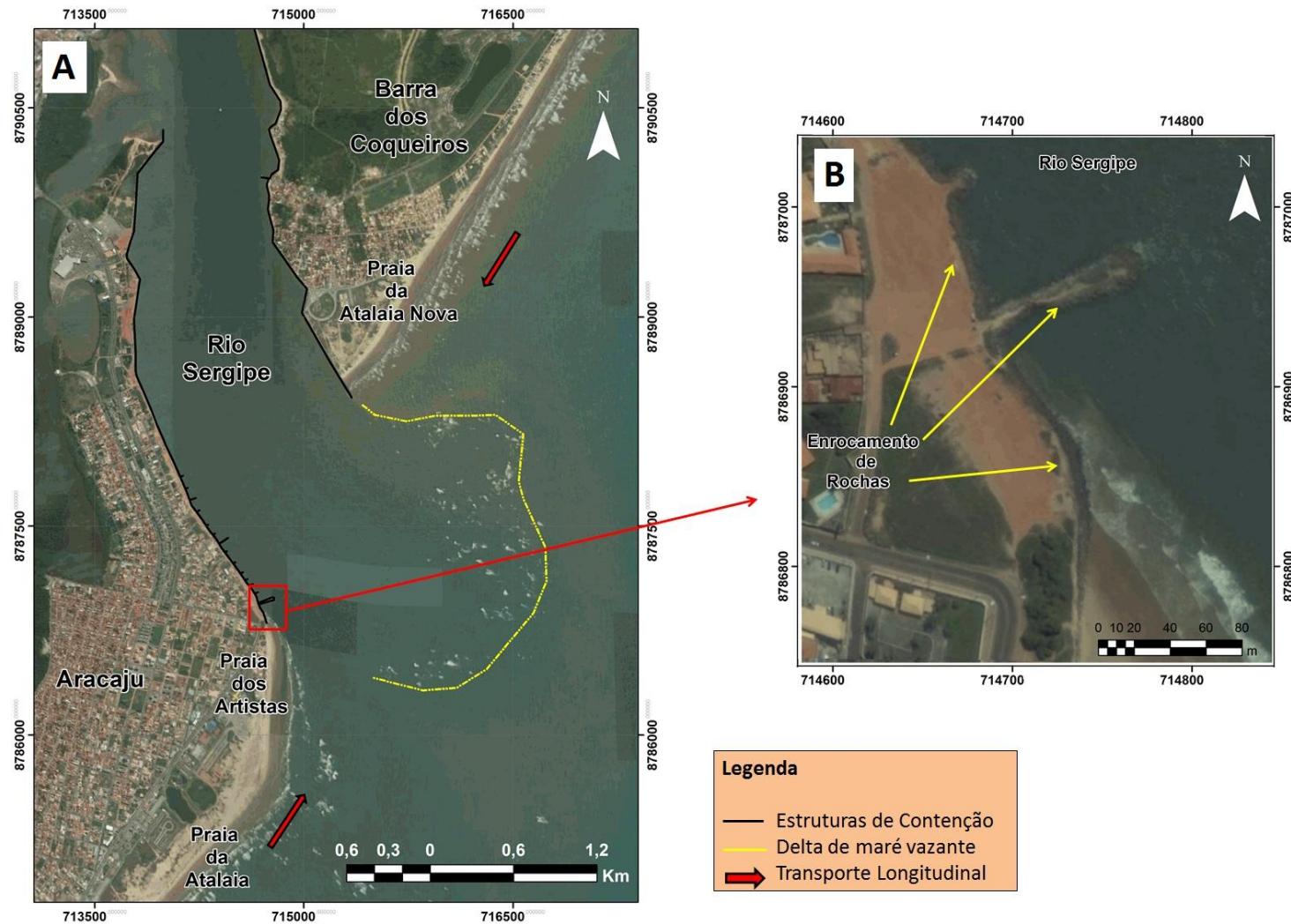


Figura 4. (A) Imagem de satélite da desembocadura do rio Sergipe com detalhe para as obras de contenção nas suas margens e o delta de maré vazante do rio; (B) Detalhe do enrocamento de rochas na praia dos Artistas, Aracaju, SE. O transporte longitudinal mostrado na imagem foi extraído de Oliveira (2003) e Rodrigues (2014). Fonte da imagem: *Google Earth Pro datum SIRGAS 2000*.



Figura 5. Fotografia aérea oblíqua da área estudo, praias dos Artistas e da Atalaia, Aracaju. A retaguarda dessas praias encontra-se ocupada com prédios, casas, Orla de Atalaia (lagos, praça de eventos, pista de aeromodelismo, etc.), entre outras estruturas antrópicas. Fonte da imagem: fotografia de Reginaldo C. Mota no ano de 2006.



Figura 6. Área ocupada na retaguarda da praia dos Artistas (proximidade do farol e enrocamento de rochas) em um ponto onde estava ocorrendo erosão no ano de 2011. Fonte: acervo de projeto de pesquisa.





Figura 7. Projeto da Prefeitura de Aracaju para a "Construção da Arena Multiuso na Orla de Atalaia – Aracaju/SE (Revitalização da 1ª Etapa da Orla da Coroa do Meio – Aracaju/SE)" iniciado em 2015. Fonte da imagem: arquivo Eduardo Carlomagno (Disponível em: <http://www.aracaju.se.gov.br/index.php?act=leitura&codigo=57895>).

## CAPÍTULO 3

### 3 Referencial Teórico

As praias constituem depósitos de sedimentos inconsolidados (areia, grânulo e seixos) não vegetados que se estendem desde a linha de baixa-mar até alguma feição geomorfológica, como: duna, falésia, costão rochoso, linha de vegetação permanente ou qualquer estrutura desenvolvida pelo homem (Davis Jr 1985, Komar 1998, Davis Jr & Fitzgerald 2004, Bird 2008).

O perfil da praia (e do litoral) pode ser subdividido em compartimentos morfológicos ou zonas hidrodinâmicas. Existem diversas nomenclaturas (*e.g.* Komar 1998, Davis Jr & FitzGerald 2004, Bird 2008, entre outros). Nesse trabalho optou-se pela utilização da nomenclatura sugerida por Komar (1998) e Bird (2008) que subdivide nos seguintes compartimentos: (i) morfológicos: pós-praia (*backshore*), berma (*berm*), face de praia (*beach face*), banco (*ridge*), canaleta (*runnel*), linha de costa (*coastline*), linha de preamar máxima (*high tide shoreline*) e linha de baixamar (*low tide shoreline*), (ii) zona hidrodinâmica: espraçamento (*swash zone*).

#### 3.1 Variações morfológicas: perfis de praia e volume de sedimentos

As praias são ambientes altamente dinâmicos, pois os sedimentos que as compõem estão constantemente se movendo transversalmente e longitudinalmente no sistema (Komar 1998). Existem praias que são bastante estáveis ao longo de períodos de anos ou décadas, mas a maioria mostra mudanças rápidas, especialmente quando submetidas a eventos de tempestades (Bird 2008).

As principais variações observadas na forma do perfil da praia ocorrem em resposta às mudanças nas condições das ondas. Essas mudanças podem resultar de uma única tempestade de magnitude “incomum” ou podem ser distribuídas ao longo do ano devido à sazonalidade geral da intensidade das ondas (Komar 1998). Camfield & Morang (1996) descrevem dois tipos de perfis, “perfil de verão” e “perfil de inverno”. Durante o verão, as ondas e correntes

carregam sedimentos e depositam nas praias, que favorecem a formação de bermas, e praias largas com perfis íngremes. No inverno, ocorre erosão e os perfis praias tornam-se curtos e aplainados. Por outro lado, Johnson (1949) aplica os termos “perfil de tempestade” e “perfil normal” que elimina a sazonalidade das mudanças morfológicas. Por fim, Komar (1998) optou pela nomenclatura de: “perfil com barra”, refletindo a presença habitual de barras no perfil quando o sedimento é retirado da praia e “perfil com berma”, presença comum dessa feição formada por processos de acreção.

Independente do tipo de nomenclatura utilizado, as mudanças morfológicas dos perfis de praia são importantes porque mostram a tendência de alteração da praia em resposta à intensidade das condições de onda e dos demais processos costeiros. Com ondas de baixa energia, o perfil é geralmente caracterizado por uma ampla berma e por um perfil largo com pouco ou nenhum desenvolvimento de barras (ou bancos). Em contraste, sob condições de ondas de maior energia, a berma é destruída e o sedimento é deslocado para o mar, sendo estocado em uma ou mais barras (ou bancos). O volume de sedimento envolvido permanece relativamente constante desde que o transporte longitudinal seja mínimo ou inexistente (Komar 1998).

Adicionalmente, as ondas que chegam à praia geram uma série de correntes que movimentam grandes quantidades de sedimentos (Villwock *et al.* 2005). A movimentação de sedimentos na costa ocorre de duas formas principais: (i) longitudinalmente (*longshore sediment transport*) e (ii) perpendicularmente à costa (*cross-shore sediment transport*), embora essa separação não seja sempre válida (Larson 1988). Em praias localizadas longe de estruturas de contenção, desembocaduras de rios ou entradas de maré, é apropriado negligenciar o transporte longitudinal, ou seja, assumir que esse transporte é baixo ou inexistente. Nesse caso, o transporte transversal será o processo principal que determinará as mudanças no perfil de praia (Larson 1988).

Os perfis de praia constituem um método fácil, eficaz e barato na determinação da topografia das praias e no monitoramento da linha de costa (Morton 1996, Souza & Ângulo 2003, Muehe *et al.* 2003). O levantamento de

perfis de praia é um método padrão que envolve medições repetidas de um transecto orientado perpendicular à linha de costa (Morton 1996). Esses levantamentos geralmente são feitos em intervalos de tempo regulares para avaliar as variações de curto prazo (dias ou anos) no posicionamento da linha de costa e calcular variações no volume de sedimentos (Smith & Zarillo 1990). As desvantagens desse método são: (i) impossibilidade de reconstruir as linhas de costa antigas e (ii) sua representatividade é apenas pontual. Essa última desvantagem pode ser compensada pela realização de vários perfis ao longo da praia e a sua posterior complementação com a utilização de fotografias aéreas e/ou imagens de satélite (Muehe & Klum-Oliveira 2014).

A técnica muito utilizada para levantamentos de perfis praias emersos é o método de Emery (1961). Esse método é simples, preciso e de fácil manutenção. As mudanças na morfologia da praia são percebidas a partir da comparação de sucessivos trabalhos de campo no mesmo local no intervalo de tempo escolhido (meses a anos) (Morton 1996). Repetidos estudos mostraram que o método de Emery tem uma precisão de  $\pm 5$  cm em elevação e  $\pm 15$  cm na distância horizontal (Smith & Zarillo 1990).

As mudanças nos perfis praias são comumente observadas em duas dimensões. Se perfis praias repetidos são levantados ao longo do tempo em uma única linha de transecto, as migrações longitudinais dos sedimentos podem ser negligenciadas. Dessa forma, os levantamentos espacialmente restritos não podem produzir uma representação fiel da morfologia “total” do sistema praial e as mudanças a que esse sistema está submetido. Sendo assim, em estudos de campo de perfis de praia, as variações na direção longitudinal também devem ser monitoradas (Komar 1998).

A praia atua como uma proteção da costa, ou seja, um amortecedor, ao ataque das ondas e assim previnem à erosão de feições localizadas em sua retaguarda, como: falésias, dunas e propriedades antrópicas (Komar 1998). Sendo assim, o conhecimento completo das mudanças na morfologia da praia é importante e depende do entendimento dos processos de transporte de sedimentos ao longo da costa (perpendicular e transversal) e na capacidade do

cientista em modelar essas mudanças utilizando esses conhecimentos (Komar 1998).

### **3.2 Linha de costa, Linha de Preamar Máxima (*high tide shoreline*), taxa de variação e faixas de proteção à costa (*setbacks*)**

A linha de costa é definida como a interface entre o continente e o oceano e sua posição varia em função da intensidade dos agentes costeiros atuantes na praia (Boak & Turner 2005).

As feições utilizadas como indicadores de linha de costa devem responder as mudanças decorrentes dos agentes costeiros e antrópicos (Morton 1996). Existem diversos indicadores de linha de costa, porém os mais utilizados são: (i) *Coastline*: refere-se ao limite entre o continente e a praia propriamente dita, e (ii) *Shoreline*: consiste no limite entre a praia seca e a praia úmida, ou seja, esta linha move-se, a depender da maré, e pode ser tanto de baixa-mar (*low tide shoreline*) quanto de preamar (*high tide shoreline*). A linha de preamar máxima (*high tide shoreline*, de Bird (2008) ou *high water line* – HWL, de Dolan *et al.* (1980) e de Pajak & Leatherman (2002)) é o indicador mais utilizado para o mapeamento da linha de costa em campo e em fotografias aéreas, pois é de fácil observação (Dolan *et al.* 1980, Crowell *et al.* 1991, Pajak & Leatherman 2002, Leatherman 2003, Stive *et al.* 2002, Esteves 2003, Boak e Turner 2005, Esteves *et al.* 2009). Por diversos autores, os termos *coastline* e *shoreline* são usados como sinônimos, porém, isso é feito de forma errônea, pois o *shoreline* varia com o estágio da maré: alta ou baixa, e o *coastline* não varia com as marés (Bird 2008).

As mudanças na posição da linha de preamar máxima (LPM) são realizadas usando uma variedade de técnicas (Smith & Zarillo 1990) que podem ser tratadas de forma isolada ou associadas (Moore 2000). As fontes de dados mais comuns incluem: fotografias aéreas, mapas, cartas náuticas e perfis de praia (Dolan *et al.* 1991). Os estudos a longo e médio prazo, em geral, utilizam mapas, cartas náuticas, fotografias aéreas ou imagens de satélite (Morton 1996) e os de curto prazo utilizam perfis de praia (Smith & Zarillo 1990). Para

Crowell *et al.* (1993) e Stive *et al.* (2002), as mudanças de longo prazo são aquelas que ocorrem a um período de tempo maior que 60 anos, as de médio prazo são aquelas que ocorrem entre 10 e 60 anos e as de curto prazo ocorrem em um intervalo de tempo menor que 10 anos.

As vantagens da utilização de perfis de praia para monitoramento da linha de preamar máxima (LPM) são: (i) diminuição da incerteza quanto à identificação da LPM, (ii) as observações sobre a movimentação da linha de costa e da LPM são baseadas em dados reais medidos em campo e não interpretados indiretamente a partir de imagens aéreas e, (iii) comparações frequentes produzem informações das mudanças morfológicas na praia que podem ser usadas para calcular o volume de sedimentos. Esse dado de volume não pode ser derivado de forma precisa a partir de fotografias aéreas (Morton 1996).

Os fatores que ocasionam mudanças na linha de preamar máxima são: (i) mudanças climáticas, (ii) movimentos tectônicos, (iii) ciclos a longo prazo do delta de maré vazante dos rios ou canais de maré, (iv) transporte de sedimentos ao longo da costa, (v) maior energia das ondas e/ou eventos de tempestade, (vi) formação e erosão de lóbulos praias, (vii) construção de obras de estabilização da costa (obras de engenharia costeira) (Camfield & Morang 1996, Bird 2008). Adicionalmente, as variações da configuração da linha de preamar máxima estão relacionadas com as variações nos perfis topográficos das praias. Quando prevalece a erosão nos perfis, a linha de preamar máxima tende a recuar no sentido do continente. Quando prevalece a deposição, a linha de preamar máxima tende a avançar no sentido do oceano (Bird 2008).

É importante reconhecer que a posição de linha de preamar máxima, exceto aquela que resulta simplesmente de uma alteração no nível d'água (*e.g.* subida e descida das marés), é afetada pelos processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos (Forbes e Liverman 1996). Para uma análise consistente das variações da linha de preamar são necessários dados anuais ou mais frequentes. Adicionalmente, se o objetivo é entender os processos de erosão e transporte de sedimentos que agem para ocasionar essas mudanças,

então observações de eventos de tempestades ou eventos meteorológicos devem ser realizadas (Forbes e Liverman 1996).

A taxa de variação da linha de preamar máxima é uma das medidas mais comuns utilizadas por cientistas costeiros para indicar a dinâmica e os riscos costeiros (Dolan *et al.* 1991). Métodos simples de medições dessas taxas, tais como EPR (*End Point Rate*) e regressão linear têm sido propostos na literatura e são amplamente utilizados (Dolan *et al.* 1991, Douglas & Crowell 2000, Honeycutt *et al.* 2001, Genz *et al.* 2007, Esteves *et al.* 2009, Mazzer & Dillenburg 2009, Souza & Luna 2010). O método EPR tem a vantagem de utilizar apenas dois valores de linha de costa, no entanto, esse fato suprime os valores intermediários, perdendo-se, assim, as mudanças ocorridas nesse período (Dolan *et al.* 1991).

As taxas de recuo da linha de preamar máxima de cerca de 5 – 10 m/ano são comuns. As taxas muito maiores são observadas em costas de gradiente baixo, incluindo partes da China e Nigéria (Forbes e Liverman 1996).

As variações da linha de preamar são complexas e a previsão de seu comportamento, por vezes, se torna complicada (Morton 1996). No entanto, a precisão da determinação dessas taxas depende do(a) (Dolan *et al.* 1991; Camfield & Morang 1996, Douglas & Crowell 2000, Boak & Turner 2005, Esteves *et al.* 2009): (i) precisão das medidas, (ii) variabilidade temporal, (iii) quantidade de dados disponíveis, (iv) período de tempo entre cada dado, (v) intervalo de tempo total dos dados, (vii) método utilizado para calcular as taxas e, (viii) indicador de posicionamento da linha de costa.

Os valores das taxas de recuo da linha de preamar máxima são utilizados para o estabelecimento de faixas de proteção ou restrição ao uso antrópico (*setback*). Essas faixas são adotadas para manter as características paisagísticas e prevenir perdas materiais em decorrência da erosão costeira (Muehe 2004). Como a região costeira está em constante mudança, é importante considerar um período de tempo associado a uma faixa de proteção. Uma abordagem razoável é a de considerar um período de 50 anos para empreendimentos habitacionais (DEA&DP 2010). Dessa forma, a faixa de

proteção deve ser sempre modificada a partir da aquisição de novos dados de pesquisas geológicas, geomorfológicas e oceanográficas (Muehe 2004).

No Decreto de Lei 9.760, de 05.09.1946, art. 2º, foi estabelecido uma faixa *non-aedificandi* de 33 m medidos a partir da preamar de sizígia (Freitas 2011). No entanto, esse limite não considera a dinâmica do ambiente e em muitas regiões não ultrapassa a largura da berma, principalmente em praias largas e de características morfodinâmicas dissipativas (Muehe 2004).

As larguras das faixas de proteção (medidas a partir da preamar média de sizígia) estabelecidas por outros países variam entre 50 e 100 m. Existem países que indicam faixas de 400 e 500 m, como Indonésia e Grécia, respectivamente (Muehe 2004). Alguns limites mais largos são adotados por alguns países para casos de restrições específicas, como instalação de indústrias, proteção de manguezais, construção de casas de veraneio, entre outras (Clark 1995).

Muehe (2004) trouxe dois exemplos de faixas de proteção à costa. O primeiro exemplo é da Turquia, que define primeiramente uma largura mínima de 50 m após o limite da praia, denominada de Zona A, na qual só são permitidas as construções de uso público. E uma segunda faixa, após a Zona A, denominada de Zona B, que é destinada à circulação e obras de saneamento, recreação, turismo, etc (Figura 8).

O segundo exemplo apresentado por Muehe (2004) é o da Carolina do Norte, EUA, que leva em consideração a taxa de erosão/recuo da linha de preamar máxima. Nessa localidade, é estipulado que a instalação de novas construções leves se localizem a uma distância de 30 vezes a taxa de recuo (m/ano) medidas a partir da primeira linha de vegetação. Por outro lado, para a instalação de novas construções pesadas é estipulada uma distância de 60 vezes o valor da taxa de recuo a partir da primeira linha de vegetação ou o valor de 30 vezes a taxa de recuo acrescido de 32 m (Figura 9).



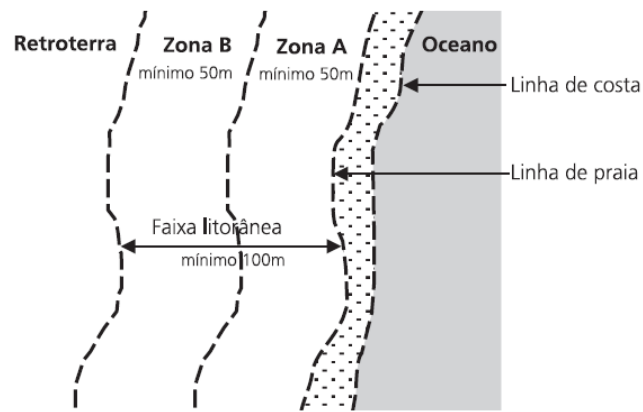


Figura 8. Exemplo de faixa proteção adotada na Turquia (Legislação de 1990 e 1992). Fonte: Adaptado de Cicin-Sain & Knecht (1998) por Muehe (2004). Nessa imagem a linha de praia corresponde a *coastline* e a linha de costa corresponde a linha d'água.

Segundo o guia do Departamento de Assuntos Ambientais e Planejamento do Desenvolvimento (*Department of Environmental Affairs & Development Planning* – DEA & DP) (2010) os dados necessários para o estabelecimento de faixas de recuo com alta precisão são: (i) modelagem de ondas, (ii) repetidos levantamentos topográficos (*e.g.* análise do comportamento da linha de preamar a curto prazo), (iii) modelagem da linha de costa/preamar máxima (*e.g.* previsões futuras mudanças em resposta à subida do nível do mar, influências antrópicas, etc.), (iv) modelagem de erosão por tempestades (*e.g.* quantificar com precisão a erosão).

Segundo Terich (1987), existem vantagens e desvantagens no estabelecimento de faixas de proteção, são elas: (i) vantagens: reduz a ameaça aos edifícios na retaguarda da praia, permite que os processos naturais de linha costa operem sem interferência, nenhum impacto é sofrido pelas propriedades vizinhas a praia, preserva os valores recreativos e estéticos da praia, não há custos de manutenção a longo prazo e não há problemas de licenciamento; (ii) desvantagens: não interrompe a erosão, pode reduzir a vista para o mar.

Nas vizinhanças da desembocadura do rio Sergipe, Rodrigues (2008) sugeriu uma faixa de proteção mínima de 500 m baseando-se nas variações ocorridas (cerca de 210 m) na linha de costa em um período de 50 anos (análise de médio prazo). No entanto, a autora que não utilizou taxas de recuo

de linha de costa para estipular esse valor, não mostra como foi estimada a largura dessa faixa.

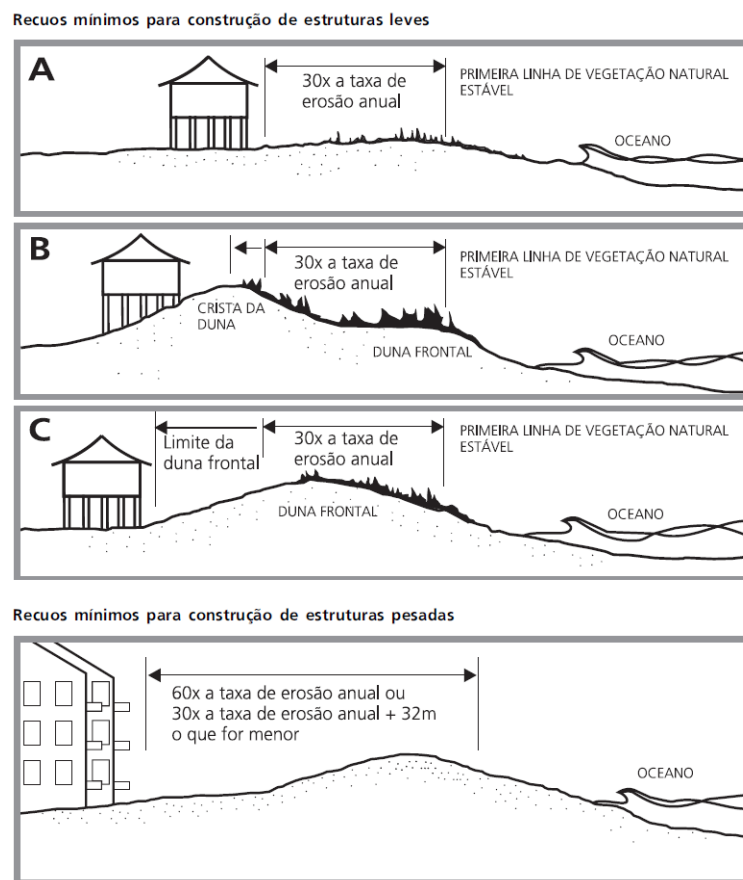


Figura 9. Exemplos de faixas proteção adotadas na Carolina do Norte a partir de 1979. Fonte: Adaptado de Cicin-Sain & Knecht (1998) por Muehe (2004): Em A – Recuos mínimos de faixa de proteção para construções leves e, em B – recuos mínimos para construção de estruturas pesadas.

### 3.3 Características dos sedimentos (textura e composição) e recuperação artificial de praia

As praias são compostas, geralmente, de sedimentos terrígenos, porém, na ausência de fontes desses sedimentos, por sedimentos carbonáticos (Komar 1998). As principais fontes de sedimentos para as praias são: rios, erosão de falésias e dunas, plataforma continental, alimentação artificial ou sedimentos relíquias (Komar 1998, Bird 2008). As ondas e correntes costeiras retrabalham

continuamente os sedimentos depositados na praia, arredondando as partículas, e selecionando-as por tamanho, densidade e forma (Komar 1998).

Os sedimentos praias, em geral, são do tamanho areia muito fina a areia média e moderadamente a bem selecionados. Nas vizinhanças das desembocaduras fluviais o tamanho do grão tende a ser maior e o selecionamento pobre em função da proximidade da área fonte (Bird 2008).

Quanto à composição, a maioria das praias é composta principalmente por grãos de quartzo, derivados do intemperismo de granitos e rochas metamórficas que são abundantes nos continentes (Komar 1998). Adicionalmente, as praias podem ser compostas por uma pequena quantidade de minerais pesados tais como hornblenda, granada, epídoto, turmalina, zircão e magnetita (Komar 1998).

Os parâmetros texturais dos sedimentos praias são importantes nos estudos da dinâmica de praias. As modificações nesses parâmetros refletem a alternância de processos de transporte (Trindade 2010) e, conseqüentemente, de processos de erosão e deposição.

A determinação das características texturais e composicionais dos sedimentos é importante para execução de projetos de recuperação de praias em erosão. Em projetos de engordamento de praias é preciso utilizar sedimentos com características compatíveis com a praia original (Nordstrom 2010). Sedimentos alóctones, com características distintas às praias originais, podem, portanto alterar a morfologia, a composição química, a biota, a tendência evolutiva da praia e, ainda, o estágio morfodinâmico da praia (Benavente *et al.* 2006). Ou seja, aumentar o tamanho dos sedimentos em uma praia arenosa pode transformar uma praia dissipativa em uma praia refletiva (Anfuso & Gracia 2005). Dessa forma, a utilização de sedimentos existentes no sistema aumenta assim a sua compatibilidade e favorece o restabelecimento do equilíbrio do ambiente praias (Nordstrom 2010).

Adicionalmente, as praias engordadas são projetadas para terem uma largura, tipo de perfil e volume de aterros calculados de modo a proporcionar a proteção necessária. O volume de aterro deve ter um excesso que leve em conta o ajuste do perfil e as possíveis perdas de sedimentos. O engordamento

da praia pode ser feito adicionando sedimento na parte emersa ou submersa do perfil (Nordstrom 2010).

No entanto, utilizam-se sedimentos de granulometria mais grossa do que o material original para aumentar a longevidade da praia (Nordstrom 2010). O maior espaço entre as partículas aumenta a percolação da água, leva a uma maior capacidade do espraçamento da onda do que o refluxo, aumentando a deposição de sedimentos (Everts *et al.*, 2002). Adicionalmente, por vezes os sedimentos félsicos são adicionados para melhorar a estética da praia e os minerais pesados para aumentar a longevidade do engordamento (Eitner 1996).

Segundo Terich (1987) existem vantagens e desvantagens da alimentação artificial de praias, são elas: (i) vantagens: método mais eficiente para a dissipação da energia das ondas, praia fica mais atrativa para o turismo e lazer, a própria praia restaurada oferece proteção adicional e natural contra tempestades, além de fornecer sedimentos para a sua recuperação natural e (ii) desvantagens: a praia provavelmente será erodida outra vez, necessitando de nova alimentação e a perda temporária da fauna e flora da praia. Mas se estudos forem realizados para se compreender a morfodinâmica da praia, essas desvantagens podem ser minimizadas.

### **3.4 Causas de erosão praial e costeira**

A erosão praial ocorre quando a praia perde mais sedimentos do que recebe das suas diferentes fontes. Os processos que levam a erosão das praias incluem: destruição por ondas em períodos de tempestades, intemperismo, redução de aporte sedimentar, etc. (Bird 2008). Já a erosão costeira engloba a erosão das praias e demais ambientes naturais e antrópicos existentes na costa, ou seja, o recuo da linha de costa (Bird 2008).

Os processos costeiros que provocam erosão ou deposição de sedimentos na praia e na linha de costas são resultados da interação de fatores oceanográficos, meteorológicos, geológicos e antrópicos (Souza 1997).

A erosão praial e costeira pode provocar o(a) (Souza *et al.* 2005, Souza 2009): (i) redução na largura da praia e recuo da linha de costa, (ii)

desaparecimento da praia seca (pós-praia), (iii) perda e/ou desequilíbrio de *habitats* naturais, (iv) aumento na frequência e magnitude de inundações costeiras causadas por marés meteorológicas, (v) aumento da intrusão salina em aquíferos, (vi) perda de propriedades e bens públicos e privados ao longo da costa, (vii) destruição de estruturas artificiais paralelas e transversais à linha de costa, (viii) perda do valor paisagístico da praia, (ix) artificialização da linha de costa devido à construção de obras costeiras, entre outras.

Segundo Bird (2008), as possíveis causas de erosão das praias são: (i) aumento na energia das ondas, (ii) redução do aporte de sedimentos advindos de rios, falésias, dunas costeiras e plataforma continental, (iii) extração de areia da praia, (iv) interceptação do suprimento de sedimentos pelas correntes, (v) mudança no ângulo de incidência das ondas, (vi) migração de lóbulos praias, (vii) mudança na amplitude das marés, (viii) remoção de sedimentos por reflexão de ondas em estruturas de contenção, entre outros. Nesse último caso, a reflexão causará mais erosão da praia e, posteriormente, solapamento e destruição da estrutura de contenção. Em alguns tipos de estruturas vazadas ou porosas a energia da onda pode ser absorvida pela percolação da água. No entanto, mesmo assim, as praias defronte a essas estruturas podem ser erodidas e desaparecerem.

Souza *et al.* (2005) agruparam as causas naturais e antrópicas da erosão costeira e praias no Brasil em 2 tipos: (i) Naturais: dinâmica de circulação costeira, morfodinâmica praias, aporte sedimentar atual naturalmente ineficiente ou ausência de fontes de sedimentos, fisiografia da costa, presença de amplas zonas de transporte ou trânsito de sedimentos (*bypass*), contribuindo para a não-permanência dos sedimentos em certos segmentos da praia, armadilhas de sedimentos e migração lateral, inversões na corrente longitudinal causadas por fenômenos climáticos (*e.g.* El Niño), elevações do nível do mar causadas de forma individual ou combinadas a atuação de outros fenômenos climáticos, fatores tectônicos. (ii) Antrópicas: urbanização da orla com destruição de dunas e/ou impermeabilização de terraços marinhos e eventual ocupação do pós-praia, implantação de estruturas rígidas ou flexíveis, paralelas ou transversais à linha de costa (*e.g.* espigões, molhes,

enrocamentos, quebra-mares, etc.), retirada de sedimentos da praia por: mineração ou limpeza pública, balanço sedimentar negativo decorrente de intervenções antrópicas.

Adicionalmente, Pereira *et al.* (2003) mostrou que nas praias adjacentes aos molhes de fixação de desembocadura do rio Mampituba/SC, são as correntes de retorno que ocasionam a remoção de sedimentos e, consequentemente, a erosão da praia.

## **CAPÍTULO 4**

### **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

A metodologia desse trabalho seguiu as etapas que serão descritas a seguir:

#### **4.1 Levantamento Bibliográfico**

Consistiu na leitura de artigos científicos, publicações e livros referentes ao tema principal da dissertação, bem como a temas correlatos e trabalhos já realizados na área de estudo.

#### **4.2 Trabalhos de Campo**

Os trabalhos de campo consistiram no levantamento de 6 perfis transversais às praias dos Artistas e da Atalaia (Figura 10) durante a maré baixa de sizígia utilizando o método das balizas de Emery (1961). Esses perfis se estenderam desde o ponto de referência (ponto fixo) até a linha d'água. As coordenadas dos pontos de referência foram obtidas através de GPS Garmin Colorado 400t, precisão de 3 m, no *datum* SIRGAS 2000.

Para os perfis 1 e 2, os períodos de análise compreenderam: outubro de 2008 a janeiro de 2013 e outubro de 2008 a fevereiro de 2014, respectivamente. Para os demais perfis, o período de análise foi de outubro de 2008 a julho de 2015. Isso ocorreu, pois no perfil 1, a praia desapareceu entre o levantamento de janeiro e agosto de 2013 e no perfil 2, o ponto de referência foi erodido entre os levantamentos de fevereiro e outubro de 2014. No primeiro ano (2008-2009), os levantamentos foram realizados quinzenalmente, no segundo ano (2009-2010), mensalmente, e no período subsequente (2010-2015), sazonalmente. Para a escolha dos dias e horários para realização dos levantamentos não foi levado em consideração a ocorrência de eventos meteorológicos extremos (*e.g.* eventos de tempestade).

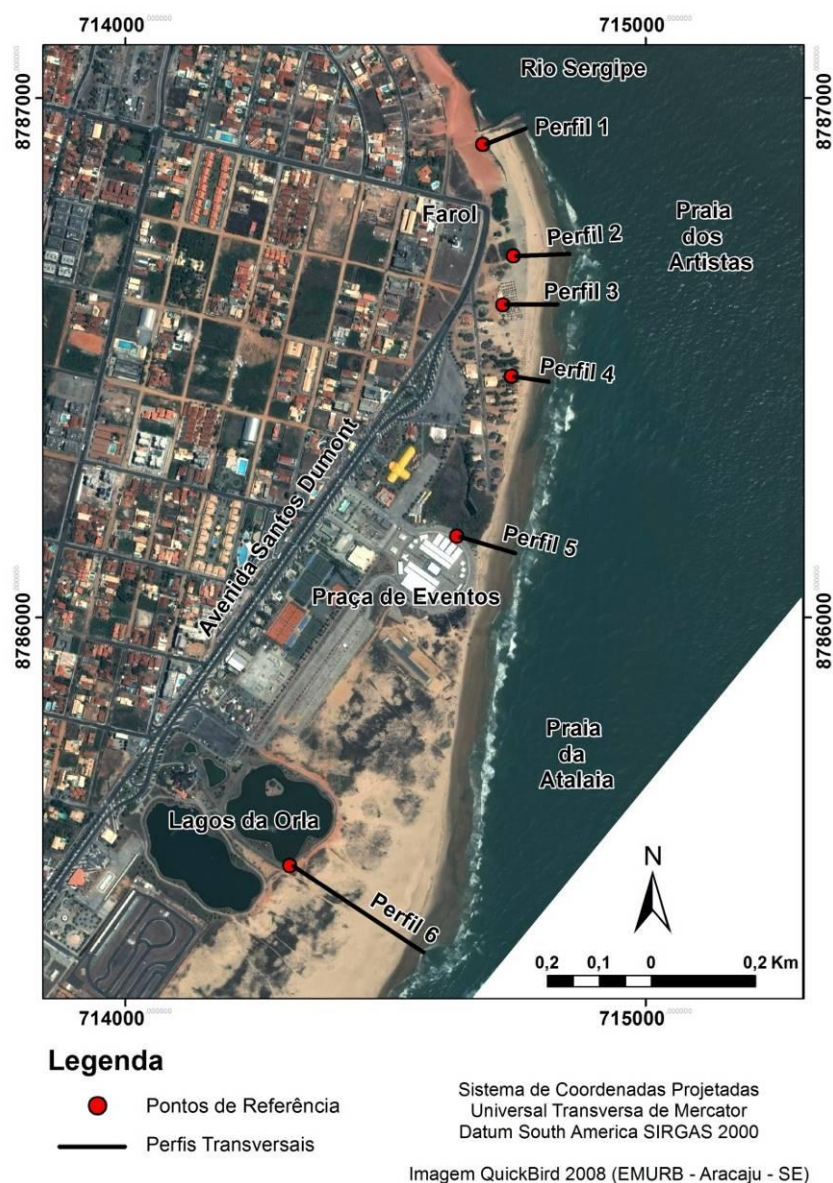


Figura 10. Localização dos perfis transversais realizados nas praias contíguas à margem direita da desembocadura do rio Sergipe.

Para a análise granulométrica foi coletada 1 amostra de sedimentos, em cada perfil, na face de praia intermediária de maneira superficial, conforme sugerido por Emery (1978), totalizando 213 amostras.

Para a análise composicional foram realizados dois trabalhos de campo em agosto de 2012 (inverno chuvoso) e fevereiro de 2013 (verão seco), que também consistiram na coleta de sedimentos de forma superficial na face de praia intermediária, em 4 pontos das praias dos Artistas e da Atalaia, distantes cerca de 1 km entre si. Os pontos (Am-1, Am-2, Am-3 e Am-4), foram também geolcados com GPS Garmin Colorado 400t (Figura 11). Durante o trabalho de



campo foi verificada a concentração de minerais máficos na face de praia superior da praia dos Artistas e foi coletada uma quinta amostra, Am-M, totalizando 9 amostras de sedimentos.

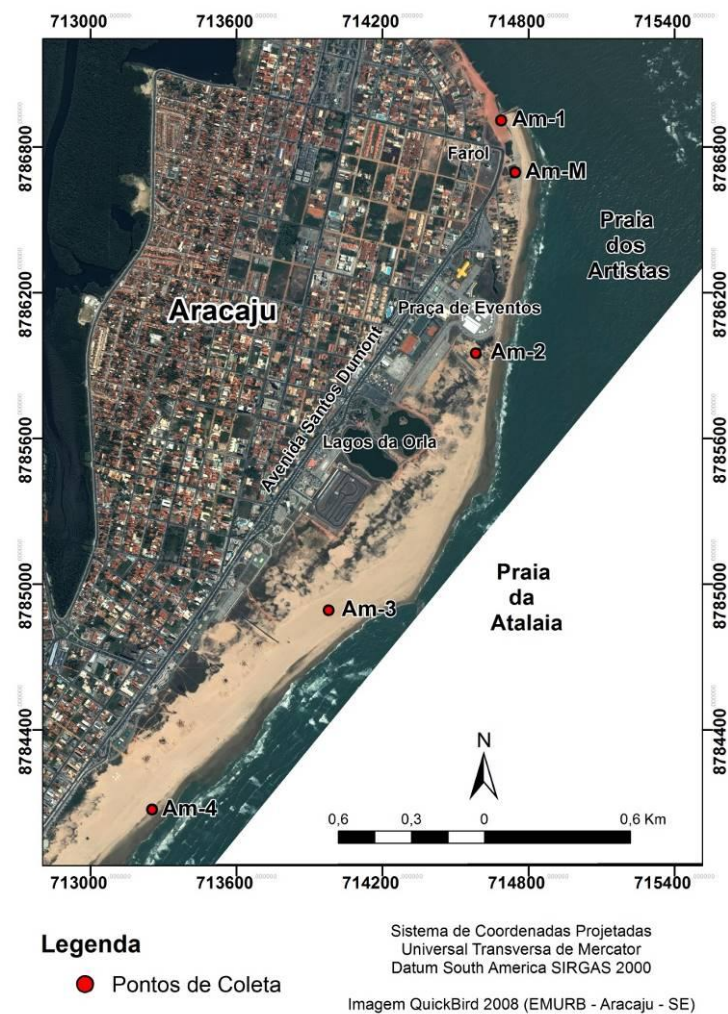


Figura 11. Localização dos pontos de coleta de sedimentos para análise composicional (Am-1, Am-2, Am-3 e Am-4) e de minerais pesados (Am-M) nas praias dos Artistas e da Atalaia, Aracaju, SE. Os pontos foram plotados na linha de preamar máxima (*high tide shoreline*) do primeiro levantamento.

#### 4.3 Análise dos dados de perfis de praia e cálculo do volume de sedimentos (2008-2015)

Os envelopes de perfis de praia (perfil 1 ao perfil 6) levantados no período de outubro de 2008 a julho de 2015 foram confeccionados em uma planilha gráfica Excel permitindo suas comparações em diferentes datas.

Posteriormente, foi realizado o cálculo da variação no volume de sedimentos pelo do Método dos Trapézios por F.M. Nascimento. Para tal, foi

necessário, inicialmente, realizar a correção da largura da praia ativa. Essa correção foi feita para minimizar os erros causados pela altura da maré no horário em que cada perfil foi realizado. A variação do volume de sedimentos foi calculada para cada perfil em cada período de levantamento: 2008-2009, 2009-2010, 2010-2011, 2011-2012, 2012-2013, 2013-2014 e 2014-2015. Os valores foram expressos em m<sup>3</sup>/m (volume por metro linear de linha de costa).

#### **4.4 Análise multitemporal da linha de preamar máxima (*high tide shoreline*) a partir das imagens de satélite (2009-2015)**

As imagens de satélite de 2009, 2010, 2011, 2013 e 2015 obtidas a partir do *Google Earth Pro* foram georreferenciadas no programa ArcGis 9.3.1® no *datum* SIRGAS 2000. As posições da linha de preamar máxima - LPM dos diferentes anos foram traçadas a partir das imagens de satélite. Posteriormente, foi realizada a sobreposição das LPM de diferentes datas sobre a imagem de 2015 no programa ArcGis 9.3.1®.

#### **4.5 Cálculo da taxa de variação da linha de preamar máxima (*high tide shoreline*) obtida a partir dos perfis de praia e imagens de satélite**

O indicador utilizado para efetuar a análise da variação da linha de costa consistiu na linha de preamar máxima - LPM (*high tide shoreline* de Bird 2008). De acordo com Crowell *et al.* (1991), Leatherman (2003) e Esteves *et al.* (2006) a LPM é um bom indicador de linha de costa pois representa a posição de máxima alcance durante o dia da obtenção do dado. Adicionalmente, a LPM apresenta continuidade ao longo da área a ser mapeada, é de fácil identificação e consistência ao ser monitorada através de diferentes fontes de dados.

Nesse trabalho, a LPM foi observada nos levantamentos de perfis de praia no período de 2008 a 2015. Para o perfil 1, a taxa foi calculada para o período de 2008 a 2013 e para o perfil 2, para o período de 2008 a 2014. Para os demais perfis, a taxa foi calculada para o período de 2008 a 2015. A LPM também foi observada nas imagens de satélite do *Google Earth Pro* dos anos de 2009, 2010, 2011, 2013 e 2015.

A taxa de variação da LPM foi calculada pelo método EPR (*End Point Rate* ou Taxa de Variação do Ponto de Terminação), descrito por Dolan *et al.* (1991) a partir dos dados de perfis e imagens de satélite. Esse método é o mais simples e amplamente utilizado para calcular a variação na LPM, pois usa somente duas posições dessa linha: a mais antiga e a mais recente. Sendo assim, o cálculo consistiu em dividir a distância total entre a posição de duas LPM pelo intervalo de tempo decorrido entre as medições (Dolan *et al.* 1991).

A taxa foi expressa em metros por ano (m/ano) e os valores positivos (+) e negativos (-) indicam o deslocamento da LPM no sentido do oceano e do continente, respectivamente.

#### **4.6 Determinação de faixas de proteção à costa (*setback lines*)**

Nesse trabalho foi adotado o modelo de estabelecimento de faixas de proteção proposto para as praias da Carolina do Norte (EUA) e mostrado no Projeto Orla (Muehe 2004), no qual se leva em consideração as taxas de recuo da LPM.

Para construções leves, a faixa de proteção foi locada a uma distância de 30 vezes a taxa de recuo (m/ano) medidas a partir da linha de vegetação permanente, base da duna, estrutura antrópica, etc., ou seja, a partir da linha de costa (*coastline*, Bird 2008). Para as construções pesadas (prédios de vários andares) foi estipulada uma distância de 60 vezes o valor da taxa de recuo, também medida a partir da linha de costa.

Entretanto, caso esses valores sejam inferiores a largura de uma duna frontal, por exemplo, esse valor deve ser estendido até o limite ou crista dessa duna para que esta permaneça protegida (Cicin-Sain & Knecht 1998 *apud* Muehe 2004).

#### **4.7 Análise dos sedimentos praias: textura e composição**

No Laboratório de Geoquímica e Sedimentologia do Departamento de Geologia e no Laboratório de Informática do Departamento de Geografia da

UFS, as amostras coletadas em cada perfil foram peneiradas à seco segundo o procedimento padrão descrito por Briggs (1977).

A análise estatística foi efetuada utilizando-se o programa SYSGRAN (Sistema de Análise Granulométrica) desenvolvido por M. G. Camargo, do Centro de Estudos do Mar da UFPR e disponibilizado gratuitamente no site <http://www.cem.ufpr.br> (Camargo 2006). Os parâmetros granulométricos (tamanho do grão e selecionamento) foram obtidos segundo o método de Folk & Ward (1957).

Para a análise composicional foram utilizadas as amostras Am-1 a Am-4. Nessas amostras foram separados 300 grãos de cada fração que foram classificados em: siliciclásticos (félsicos ou máficos), fragmentos líticos, bioclastos, matéria orgânica detrítica, entre outros. Os resultados das análises composicionais foram espacializados no programa ArcGis 9.3.1.

A análise dos minerais pesados foi realizada em cerca de 1400 grãos, utilizando o detector EDS (*Eletron Dispersive System*) acoplado ao Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), marca Tescan® (Vega 3), do Laboratório de Microscopia Eletrônica do PGAB da UFS. Essa técnica foi escolhida por se tratar de um método de alta resolução espacial, que permite a determinação quantitativa da composição química elementar das partículas.

#### **4.8 Integração e interpretação dos dados**

Os dados obtidos nas etapas anteriores foram integrados e interpretados, permitindo a compreensão da dinâmica da praia e da linha de costa nas praias contíguas à margem direita da desembocadura do rio Sergipe, Aracaju, SE.

## **CAPÍTULO 5**

### **5 Resultados e Discussões**

#### **5.1 Variações morfológicas: perfis de praia e volume de sedimentos**

##### **Perfil 1**

As mudanças morfológicas ocorreram no perfil 1 no período de outubro de 2008 a janeiro de 2013 (Figura 12). Em 2009, a praia apresentava uma berma (Figura 13A) e o enrocamento de rochas na sua retaguarda estava quase que totalmente recoberto por sedimentos retrabalhados pelo vento, que formavam dunas frontais (Figura 13B). Em 2010, um processo erosivo esculpiu uma escarpa encurvada na face de praia (Figura 13C) que recuou até atingir o enrocamento de rochas, expondo-o (Figura 13D). A praia passou a apresentar largura estreita, cerca de 13 m (Figura 12A). A partir de agosto de 2013, mesmo na maré baixa de sizígia, a praia, seca e úmida, desapareceu completamente (Figura 13E). A praia não se recuperou mais até o levantamento de campo realizado em julho de 2015 (Figura 13F).

Dessa forma, o perfil 1 apresentou tendência erosiva em todos os períodos analisados (vide Figura 12, Tabela 1). No período de 2008 a 2013, a variação total no volume de sedimentos foi de  $-320 \text{ m}^3/\text{m}$  (Figura 29).

Adicionalmente, a largura do pós-praia passou de cerca de 8 m a inexistente, respectivamente. Em 2008, a linha de costa (LC) consistia na base das dunas frontais. A linha de preamar máxima (LPM) recuou e atingiu a LC que, por sua vez, recuou cerca de 40 m passando a coincidir com o enrocamento de rochas (Figura 14).

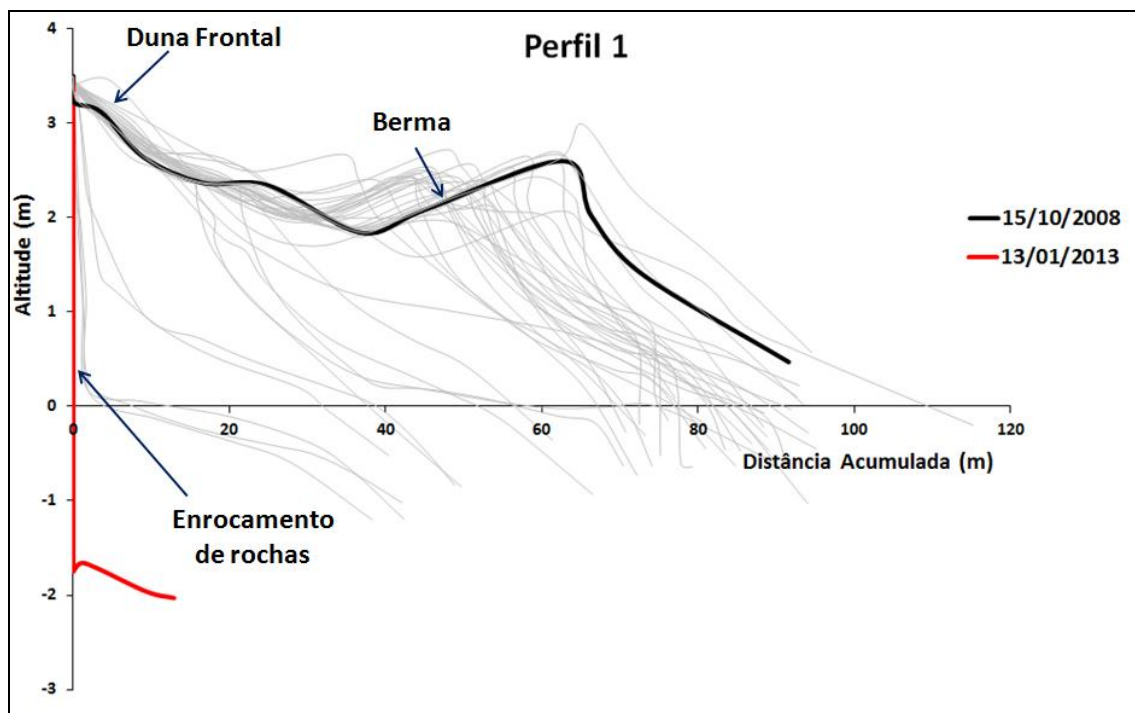


Figura 12. Envelope de perfis com as variações morfológicas no perfil 1. A linha em preto indica o primeiro levantamento de campo realizado em outubro de 2008 e a linha em vermelho indicam o último levantamento de campo, em janeiro de 2013. As linhas em cinza indicam os perfis com datas intermediárias que foram plotados apenas para mostrar a grande variabilidade morfológica dos perfis.

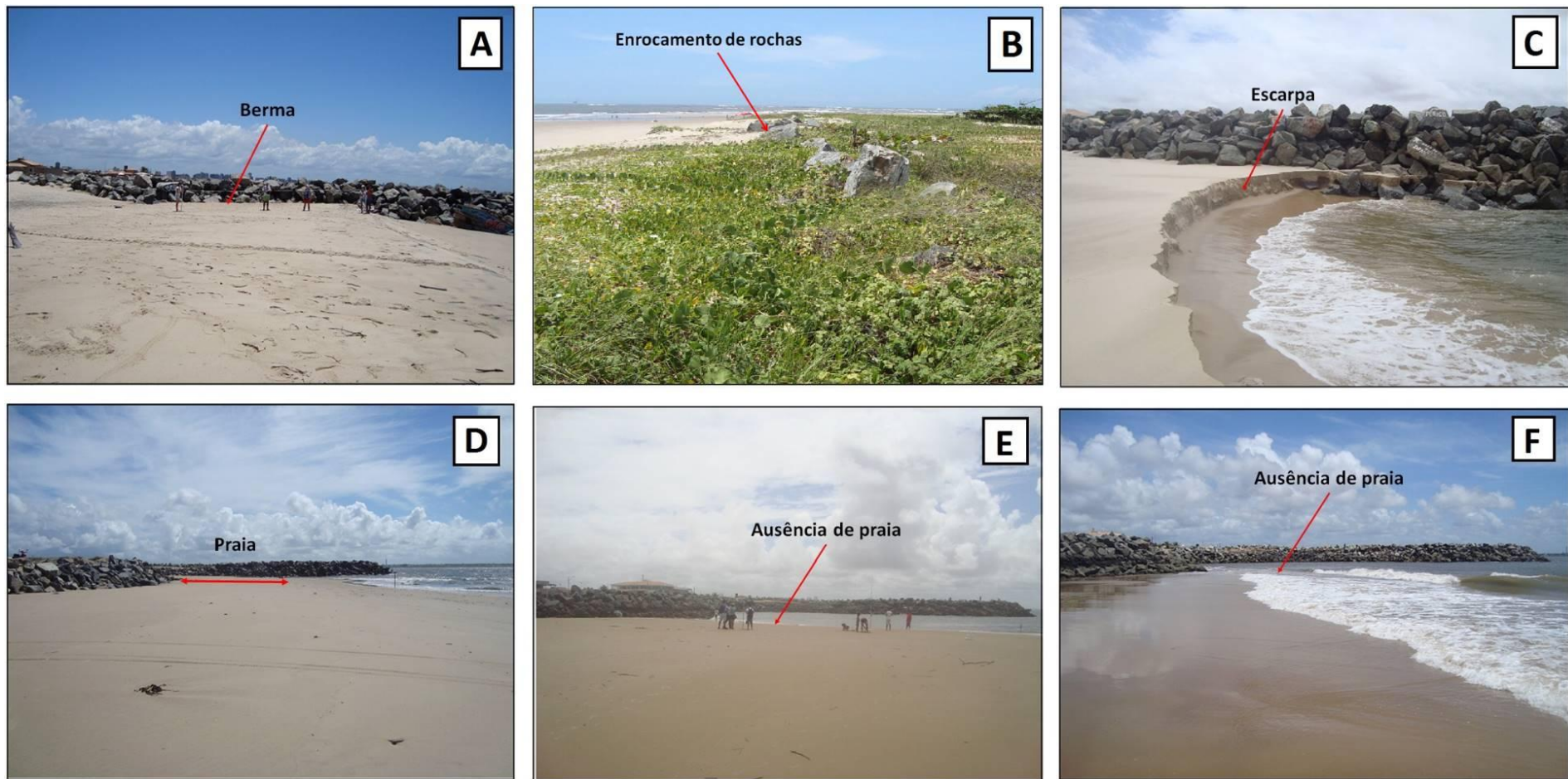


Figura 14. Modificações morfológicas no perfil 1: (A) Praia extensa e com berma em 2009; (B) Enrocamento de rochas parcialmente recoberto pela duna frontal parcialmente vegetada em 2009; (C) Escarpa na face de praia inferior em 2010; (D) Praia estreita e enrocamento de rochas exposto em 2012; Ausência de praia em (E) 2013 e (F) em 2015.





Figura 14. Mudanças na linha de costa (*coastline*) no perfil 1 no período analisado. (A) Em 2008: linha de costa consistia na linha de vegetação na base da duna frontal e, (B) em 2014: linha de costa consistia no enrocamento de rochas.

## Perfil 2

A figura 15 mostra as mudanças morfológicas ocorridas no perfil 2 no período de outubro de 2008 a fevereiro de 2014. No ano de 2009, a praia apresentava pós-praia largo (cerca de 60 m) (Figura 16A), por vezes com berma e, com dunas frontais vegetadas em sua retaguarda (Figura 16B). Porém, em 2011, com a contínua erosão, formou-se uma escarpa nas dunas frontais (Figura 16C). O pós-praia tornou-se estreito (cerca de 25 m) ou inexistente e a face de praia apresentou concentração de minerais máficos indicando remoção dos minerais félsicos mais leves (Figura 16D). Em 2014, a duna frontal foi erodida, formando uma escarpa que recuou e atingiu o ponto de referência, que foi perdido, impedindo os levantamentos posteriores a outubro desse ano. Em julho de 2015, mesmo sem ter sido feito o levantamento topográfico, foi observada, em campo, a presença da praia com uma berma, demonstrando que ocorreu um evento de deposição. No entanto, a berma escarpada indica a ocorrência de um novo evento erosivo (Figura 16E). As feições morfológicas canaletas e bancos (Figura 16F) foram frequentes na maioria dos levantamentos de campo.

Dessa forma, o perfil 2 apresentou períodos de erosão intercalados com períodos de deposição (vide Figura 15 e Tabela 1). A variação total no volume



de sedimentos, no período de 2008 a 2014, foi de  $-150 \text{ m}^3/\text{m}$  (Figura 29), indicando uma tendência geral de erosão.

Adicionalmente, a largura do pós-praia passou de cerca de 10 m a inexistente, respectivamente. Em 2008, a LC consistia na base das dunas frontais. A LPM recuou e atingiu a LC que, por sua vez, recuou cerca de 30 m. As dunas frontais foram erodidas e a LC passou a consistir na escarpa no aterro (Figura 17).

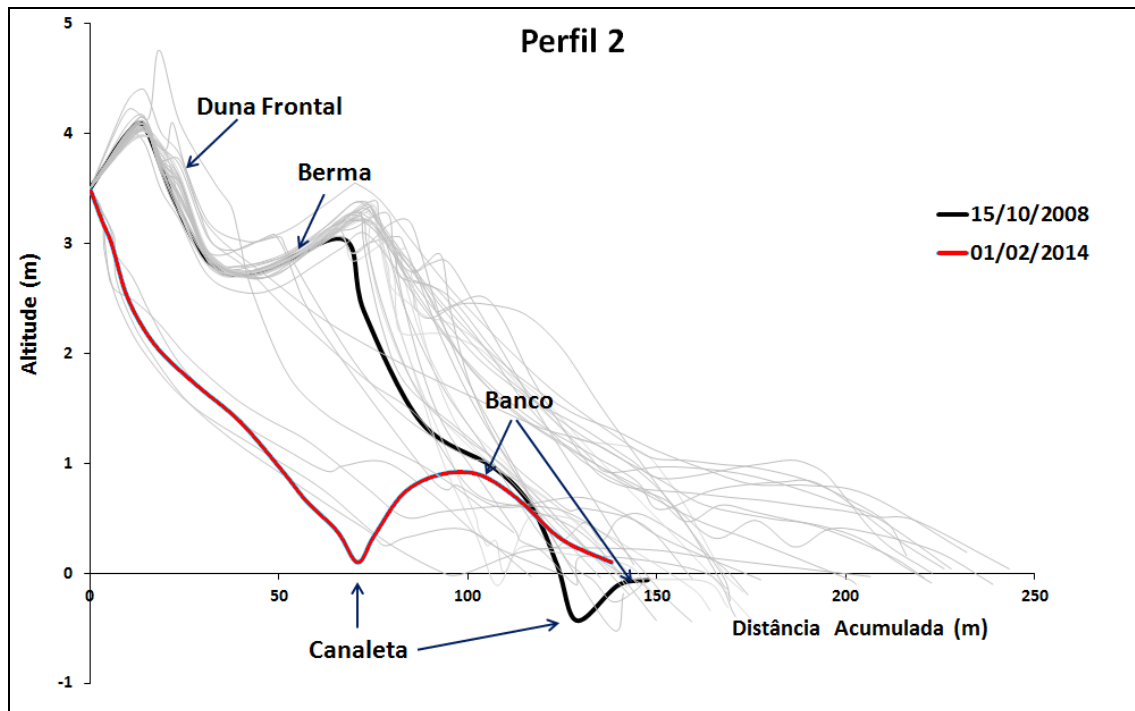


Figura 15. Envelope de perfis com as variações morfológicas no perfil 2. A linha em preto indica o primeiro levantamento de campo realizado em outubro de 2008 e a linha em vermelho indicam o último levantamento de campo, em fevereiro de 2014. As linhas em cinza indicam os perfis com datas intermediárias que foram plotados apenas para mostrar a grande variabilidade morfológica dos perfis.



Figura 16. Modificações morfológicas no perfil 2: (A) Pós-praia largo em 2009; (B) Duna frontal vegetada em 2010; (C) Escarpa no duna frontal em 2011; (D) Pós-praia estreito e concentração de minerais máficos na face de praia em 2012; (E) Praia com berma escarpada em 2015, (F) Canaleta e banco na face de praia em 2014.



Figura 17. Mudanças na linha de costa (*coastline*) no perfil 2 no período analisado. (A) Em 2009: linha de costa consistia na linha de vegetação na base da duna frontal e, (B) em 2014: linha de costa consistia na escarpa no aterro.

### Perfil 3

A figura 18 mostra as mudanças morfológicas ocorridas no perfil 3 no período de outubro de 2008 a julho de 2015. Em 2009, a praia apresentava o pós-praia largo (cerca de 120 m) (Figura 19A), com presença de berma (Figura 19B) e, face de praia com escarpa retrabalhada (Figura 19C). Porém, com a intensa ação erosiva em 2010, o pós-praia tornou-se estreito (cerca de 30 m), sem berma e, a sua retaguarda apresentou-se escarpada (Figura 19D). Em 2013, o pós-praia apresentava-se estreito (cerca de 6 m) e parcialmente “lavado” pelas ondas de maior alcance (Figura 19E). Em 2015, os sedimentos do pós-praia mostraram evidências de intenso retrabalhamento pelo vento (Figura 19F), modificando a forma desse compartimento (vide Figura 16). As feições morfológicas canaletas e bancos foram frequentes na maioria dos levantamentos de campo, como mostrado na Figura 19B. Por vezes, ocorreu a presença de minerais máficos na face de praia superior, indicando a remoção seletiva de sedimentos.

Dessa forma, o perfil 3 apresentou intercalações de períodos de erosão e deposição (vide Figura 16 e Tabela 1). A variação total no volume de sedimentos, no período de 2008 a 2015, foi de apenas  $-3,5 \text{ m}^3/\text{m}$  (Figura 29) indicando uma tendência erosiva ou de quase estabilidade.

Adicionalmente, a largura do pós-praia variou de 36 a 34 m, respectivamente. Em 2008, a LC consistia na base da estrutura antrópica que não foi atingida pelas variações na LPM (Figura 20).

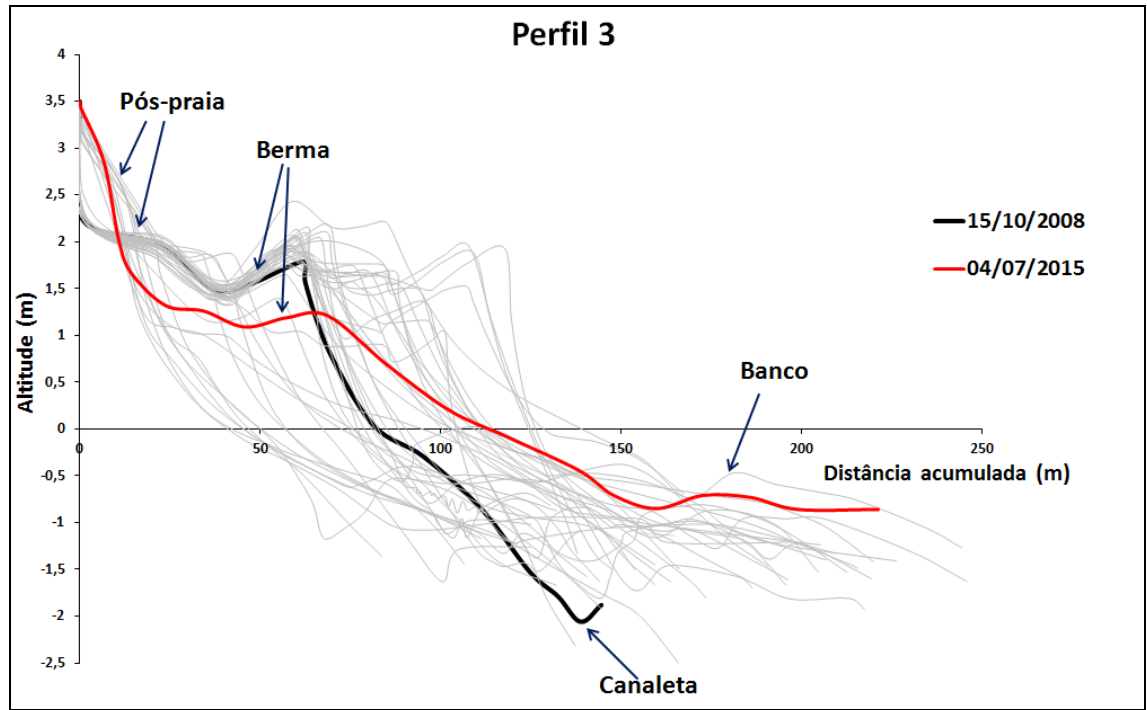


Figura 18. Envelope de perfis com as variações morfológicas no perfil 3. A linha em preto indica o primeiro levantamento de campo realizado em outubro de 2008 e a linha em vermelho indicam o último levantamento de campo, em julho de 2015. As linhas em cinza indicam os perfis com datas intermediárias que foram plotados apenas para mostrar a grande variabilidade morfológica dos perfis.



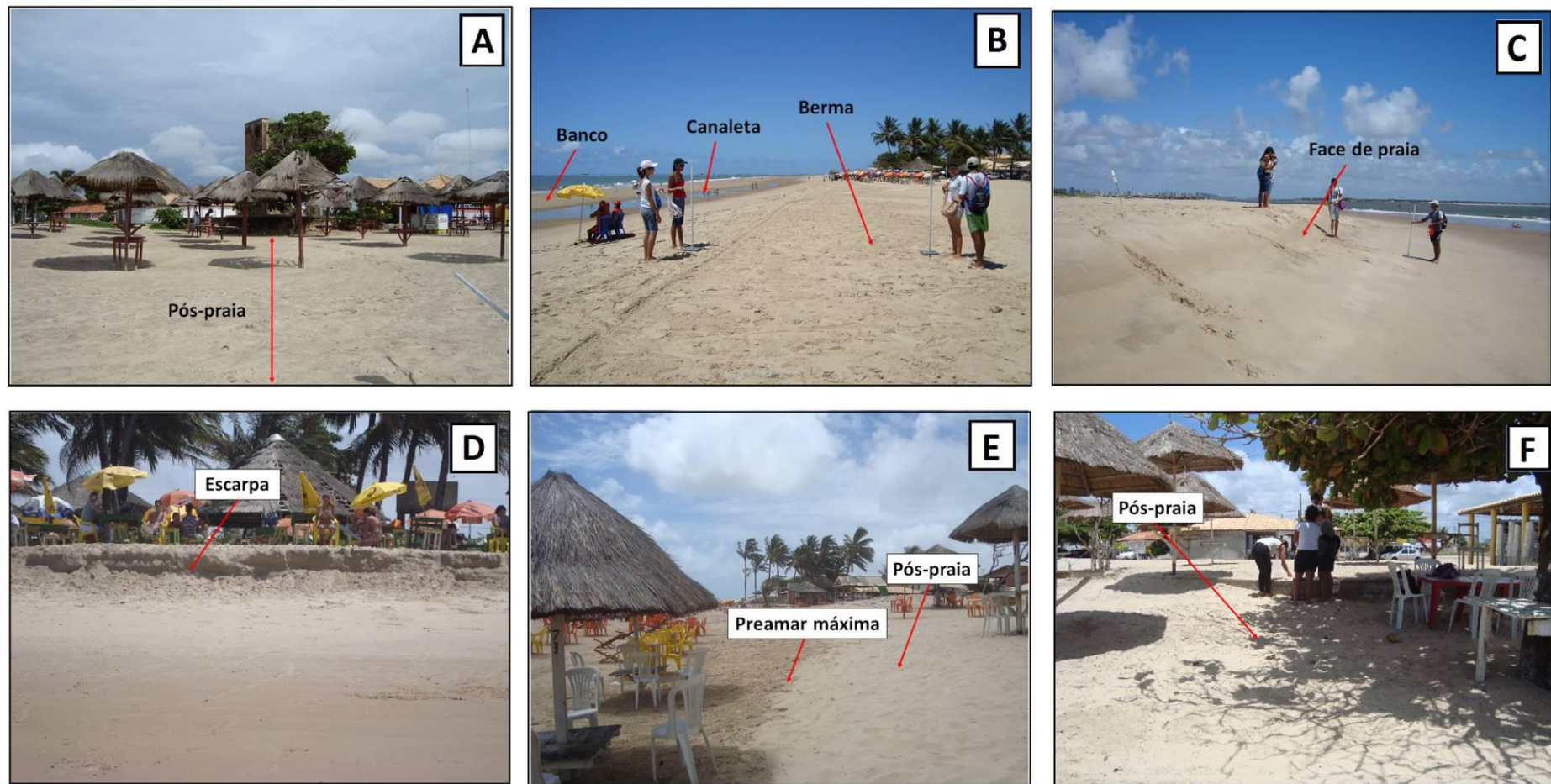


Figura 19. Modificações morfológicas no perfil 3: (A) Pós-praia largo e com declividade suave em 2009; (B) Pós-praia com berma e face de praia com canaleta e banco em 2009; (C) Face de praia íngreme e escarpada em 2009; (D) Escarpa na face de praia em 2010; (E) Pós-praia estreito e "lavado" em 2013; e (F) sedimentos do pós-praia mostraram evidências de intenso retrabalhamento pelo vento em 2015.



Figura 20. Mudanças na linha de costa (*coastline*) no perfil 3 no período analisado. (A) Em 2009: limite entre estrutura antrópica e a praia, com desnível e (B) em 2015: limite entre a estrutura antrópica e a praia, recoberto por sedimentos retrabalhados pelo vento.

#### Perfil 4

A figura 21 mostra as mudanças morfológicas ocorridas no perfil 4 no período de outubro de 2008 a julho de 2015. Em 2009, o pós-praia possuía largura estreita (inferior a 20 m) (Figura 22A) e face de praia íngreme. Em 2010, o pós-praia estava largo (superior a 100 m) (Figura 22B) e com berma (Figura 22C). Em 2011, ocorreu a presença de minerais máficos na face de praia superior, indicando a remoção seletiva de sedimentos. Adicionalmente, o pós-praia apresentava-se parcialmente “lavado” e com largura reduzida (cerca de 15 m). Em 2012, ocorreu erosão com destruição de estruturas antrópicas que estavam localizadas na retaguarda do pós-praia. A remoção de sedimentos favoreceu a formação de uma escarpa na estrutura antrópica (Figura 22D). A partir de 2013, a escarpa apresentou-se inativa (Figura 22E). Apesar da erosão na porção superior da praia, ocorreu deposição na face de praia inferior. A presença de canaletas e bancos nesse perfil também foi frequente na maioria dos levantamentos de campo (Figura 22F).

Dessa forma, o perfil 4 apresentou períodos de erosão intercalados com períodos de deposição (vide Figura 21 e Tabela 1). A variação total no volume de sedimentos, no período de 2008 a 2015, foi de +162 m<sup>3</sup>/m (Figura 29) indicando uma tendência deposicional nesse período.

Adicionalmente, a largura do pós-praia variou de 12 a 22 m, respectivamente. Em 2008, a linha de costa (LC) consistia na escarpa esculpida na estrutura antrópica. A LPM recuou e atingiu a LC que, por sua vez, recuou cerca de 2 m (Figura 23).

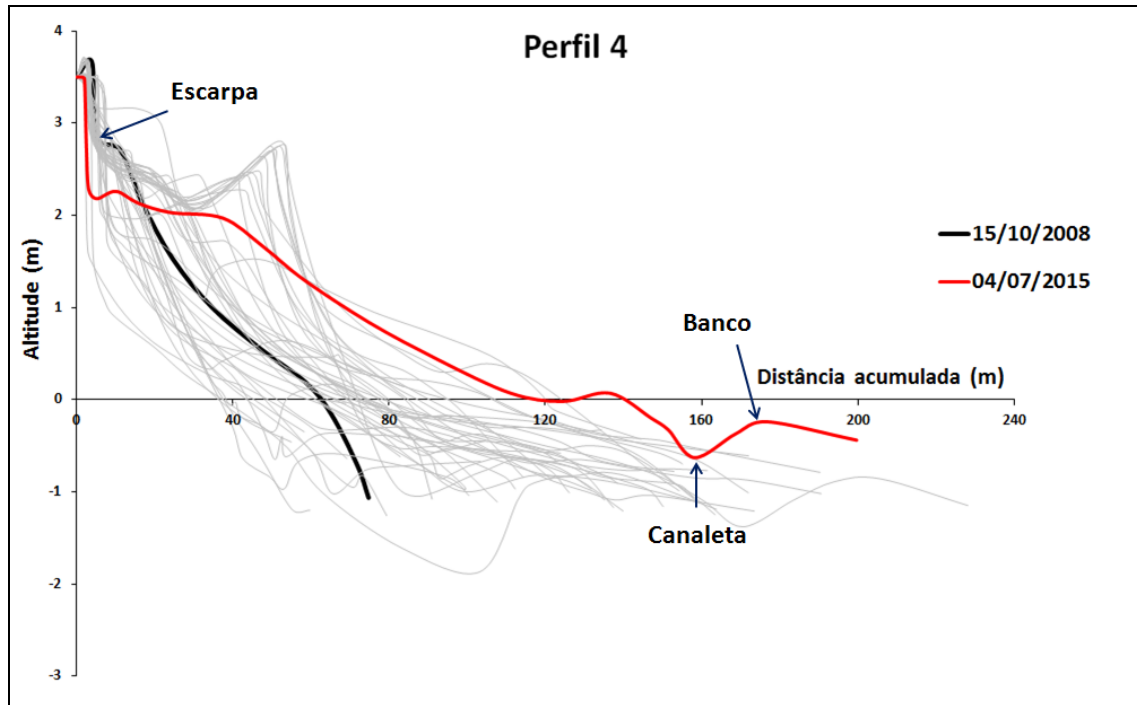


Figura 21. Envelope de perfis com as variações morfológicas no perfil 4. A linha em preto indica o primeiro levantamento de campo realizado em outubro de 2008 e a linha em vermelho indicam o último levantamento de campo, em julho de 2015. As linhas em cinza indicam os perfis com datas intermediárias que foram plotados apenas para mostrar a grande variabilidade morfológica dos perfis.



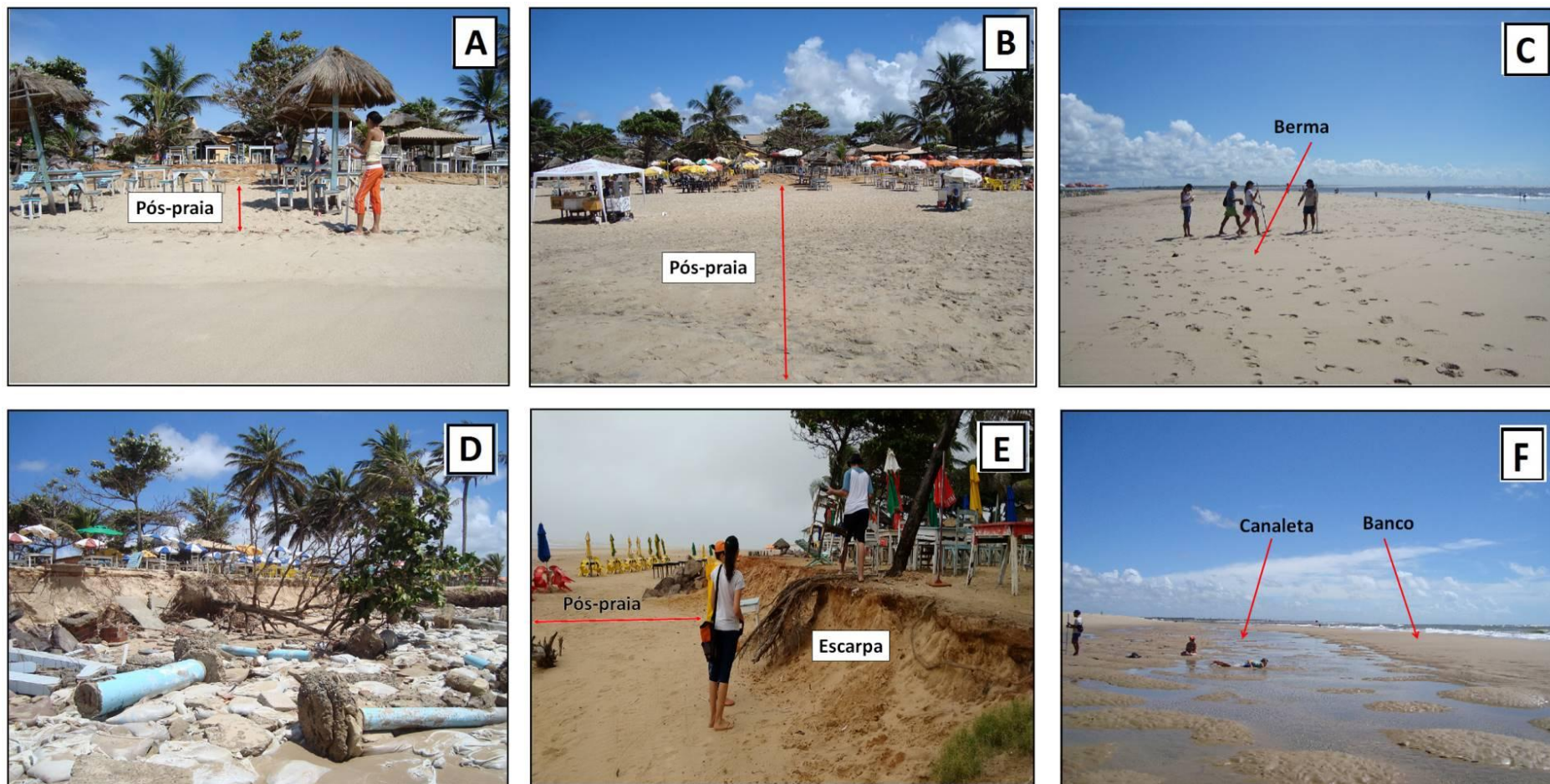


Figura 22. Modificações morfológicas no perfil 4: (A) Pós-praia estreito em 2009; (B) Pós-praia largo em 2010; (C) Berma bem desenvolvido em 2010; (D) Escarpa na retaguarda da praia e destruição de estruturas antrópicas e amendoeira em 2012; (E) Estabilização da escarpa e aumento da largura do pós-praia em 2015 e (F) Presença de canaletas e bancos na praia.





Figura 23. Mudanças na linha de costa (*coastline*) no perfil 4 no período analisado. (A) Em 2009: base da escarpa inativa esculpida na estrutura antrópica, com indícios de erosão pretérita e (B) em 2015: base da escarpa.

## Perfil 5

A figura 24 mostra as mudanças morfológicas ocorridas no perfil 5 no período de outubro de 2008 a julho de 2015. Entre os anos de 2007 e 2008, a Praça de Eventos, situada na retaguarda da praia nesse perfil, foi erodida (Vieira 2008) (Figura 25A). Em 2009, a praia apresentava pós-praia aplainado (Figura 25B) e com berma (Figura 25C). Em 2010, o pós-praia tornou-se extenso (superior a 40 m) e foi retrabalhado pelo vento. A partir de 2012, esse retrabalhamento favoreceu o desenvolvimento de dunas frontais (Figura 15D). A pista destruída da Praça de Eventos (vide Figura 25A) foi recoberta pelos sedimentos das dunas frontais (vide Figura 25D). Feições morfológicas como canaletas e bancos foram frequentes e ocorreram em alguns levantamentos de campo.

Dessa forma, o perfil 5 apresentou intercalações de períodos de erosão e deposição (vide Figura 24 e Tabela 1). A tendência geral foi de deposição com acúmulo de  $+485 \text{ m}^3/\text{m}$  de sedimentos no período de 2008 a 2015 (Figura 29).

Adicionalmente, a largura do pós-praia variou de 15 a 106 m, respectivamente. Em 2008, a LC consistia no limite entre a pista erodida da Praça de Eventos e a praia propriamente dita. Eventos deposicionais provocaram o avanço da LPM e o retrabalhamento dos sedimentos do pós-praia

deu origem a dunas frontais bem desenvolvidas. Em 2015, a LC passou a consistir na base das dunas frontais, que avançou cerca de 8 m (Figura 26).

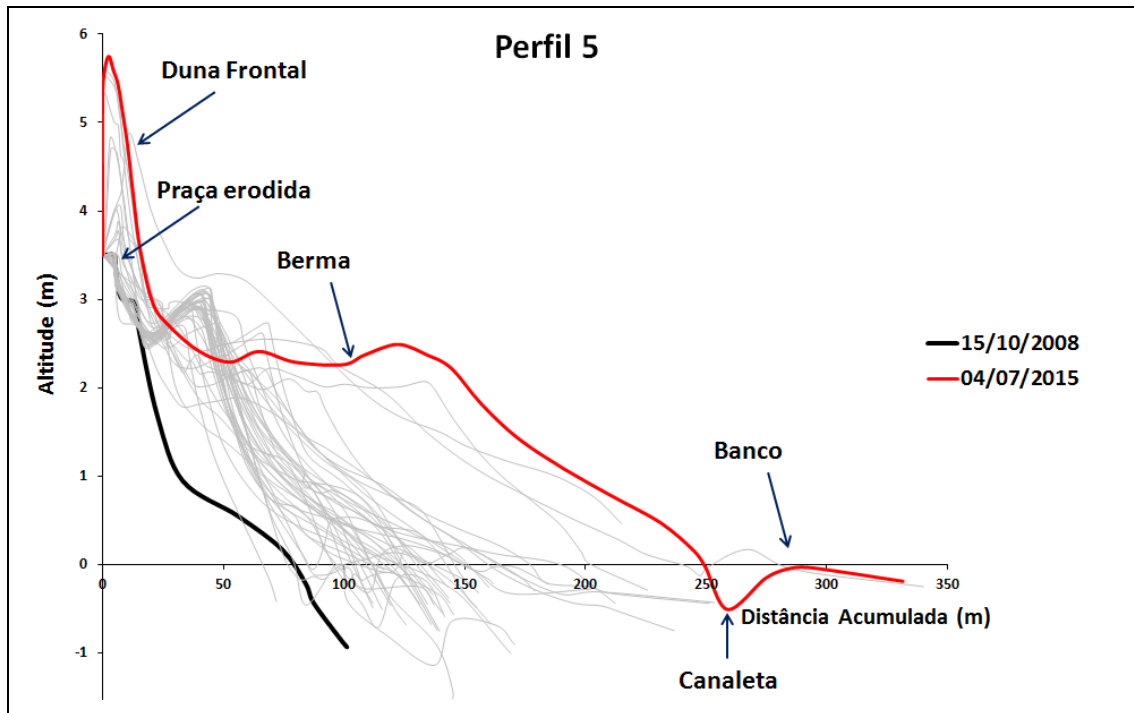


Figura 24. Envelope de perfis com as variações morfológicas no perfil 5. A linha em preto indica o primeiro levantamento de campo realizado em outubro de 2008 e a linha em vermelho indicam o último levantamento de campo, em julho de 2015. As linhas em cinza indicam os perfis com datas intermediárias que foram plotados apenas para mostrar a grande variabilidade morfológica dos perfis.

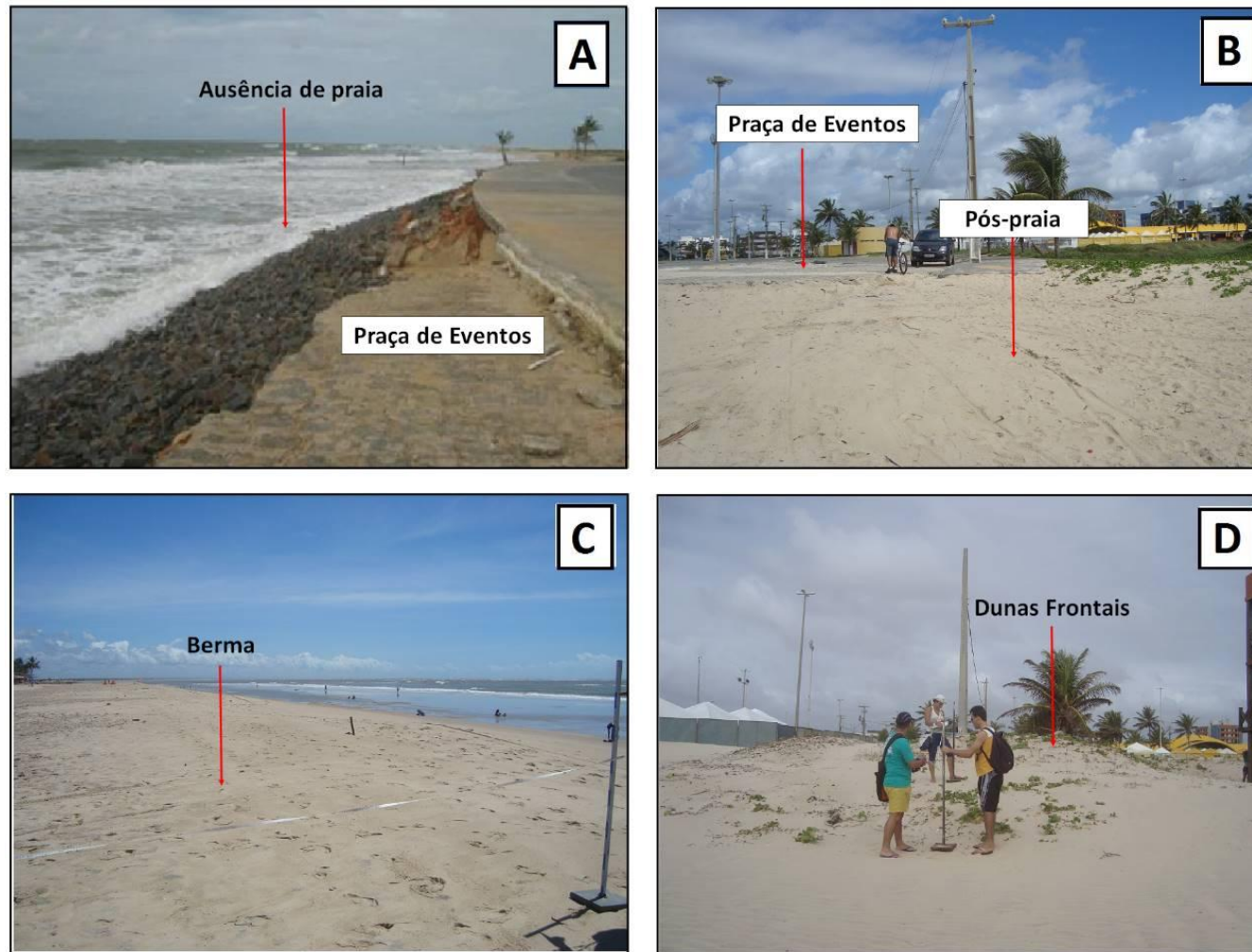


Figura 25. Modificações morfológicas no perfil 5: (A) Ausência de praia e erosão da praça de Eventos em meados 2008; (B) Pós-praia plano em 2009; (C) Pós-praia com berma em 2009; (D) Duna frontal vegetada na retaguarda do pós-praia em 2013.



Figura 26. Mudanças na linha de costa (*coastline*) no perfil 5 no período analisado. (A) Em 2009: limite entre a pista erodida da praça de eventos e a praia e (B) em 2015: base da duna frontal vegetada.

## Perfil 6

A figura 27 mostra as mudanças morfológicas ocorridas no perfil 6 no período de outubro de 2008 a julho de 2015. Em 2009, a praia apresentava pós-praia estreito (inferior a 10 m) ou inexistente e face de praia íngreme. A escarpa no pós-praia (Figura 28A) recuou até alcançar e esculpir, em 2010, a duna frontal (Figura 28B). A partir de 2011, o recuo da duna frontal cessou, e o pós-praia tornou-se um pouco mais largo (cerca de 25 m) (Figura 28C). No entanto, em julho de 2015, o pós-praia tornou-se estreito novamente (cerca de 11 m) (Figura 28D).

Dessa forma, o perfil 6 apresentou períodos de erosão intercalados com períodos de deposição (vide Figura 27 e Tabela 1). A variação total no volume de sedimentos, no período de 2008 a 2015, foi de  $-130 \text{ m}^3/\text{m}$  (Figura 30) indicando uma tendência erosiva nesse período.

Adicionalmente, a largura do pós-praia variou de 6 a 12 m, respectivamente. Em 2008, a LC consistia na base da duna frontal. A LPM recuou e atingiu a LC que, por sua vez, recuou cerca de 90 m (Figura 29).

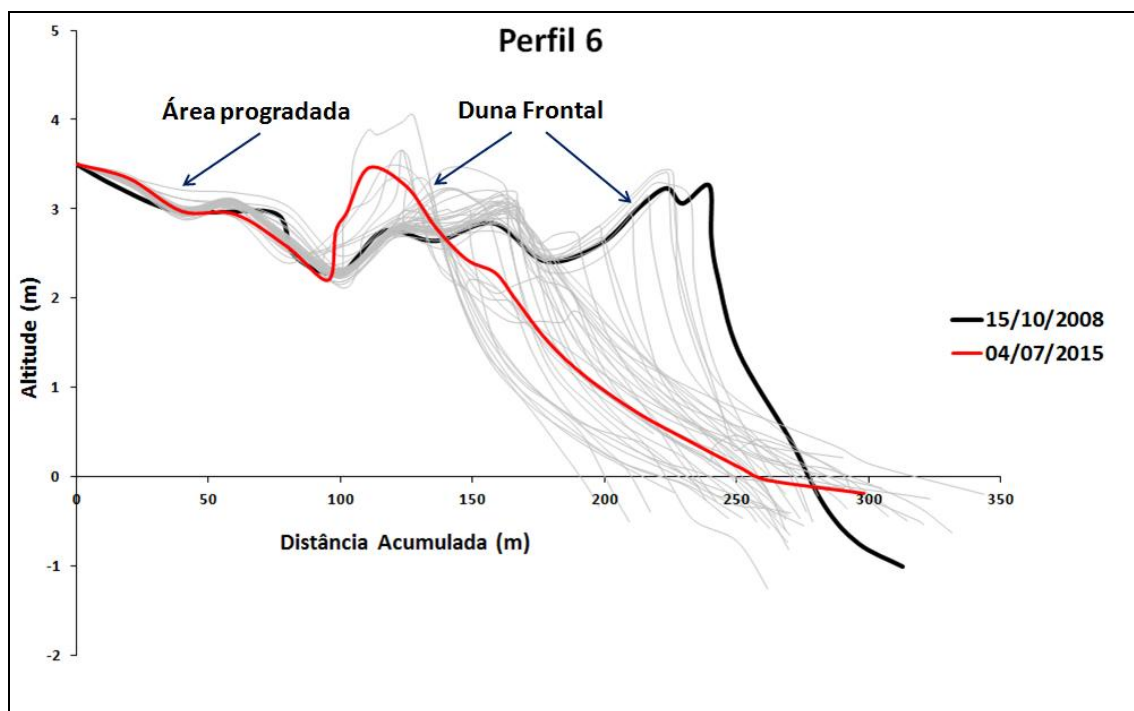


Figura 27. Envelope de perfis com as variações morfológicas no perfil 6. A linha em preto indica o primeiro levantamento de campo realizado em outubro de 2008 e a linha em vermelho indicam o último levantamento de campo, em julho de 2015. As linhas em cinza indicam os perfis com datas intermediárias que foram plotados apenas para mostrar a grande variabilidade morfológica dos perfis.



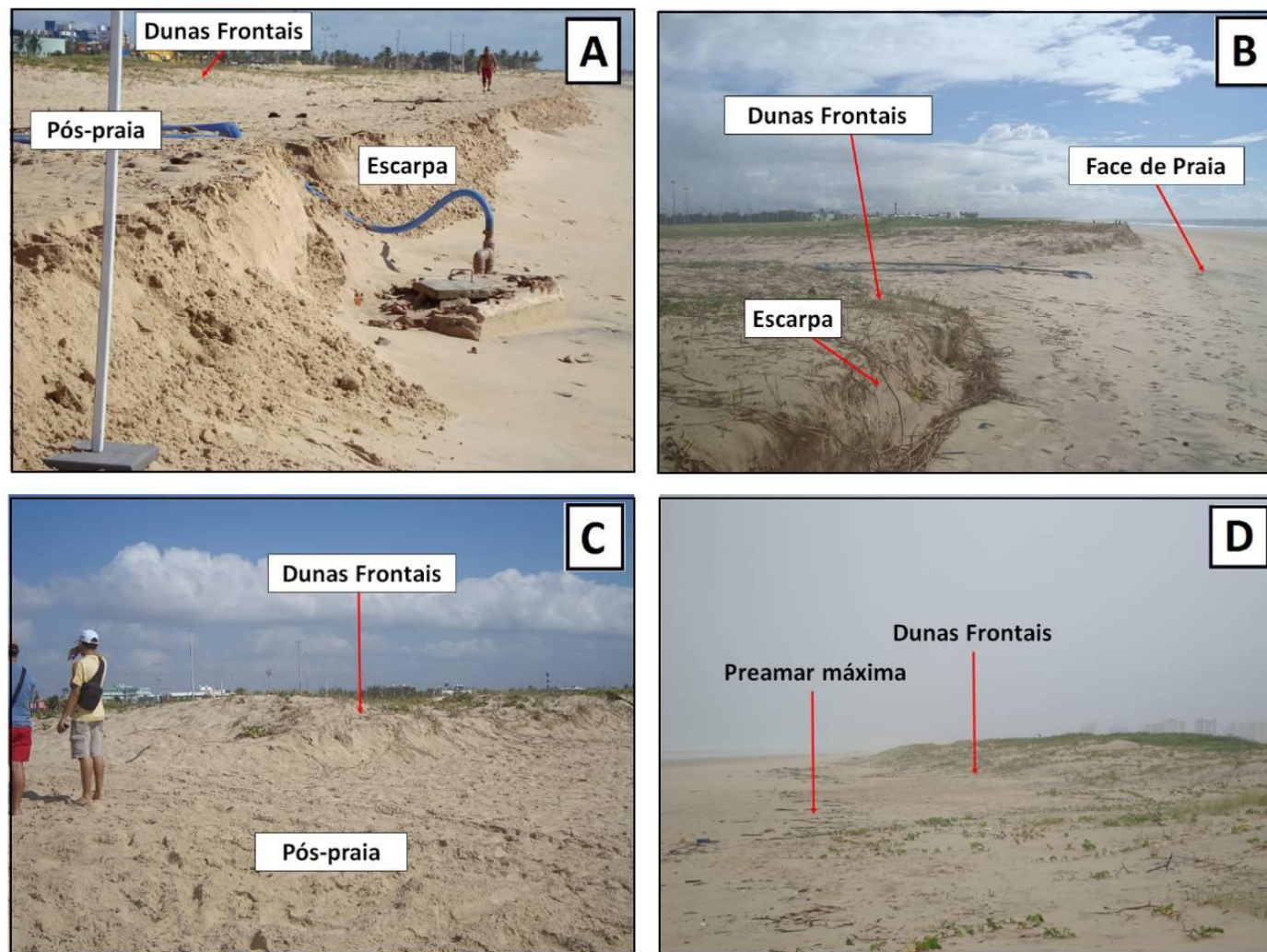


Figura 28. Modificações morfológicas no perfil 6: (A) Escarpa no pós-praia em 2009; (B) Escarpa na duna frontal vegetada e ausência de pós-praia em 2009; (C) Duna frontal vegetada estabilizada sem indicio de erosão em 2011; (D) Pós-praia estreito e linha de preamar máxima próxima à duna frontal em 2015.

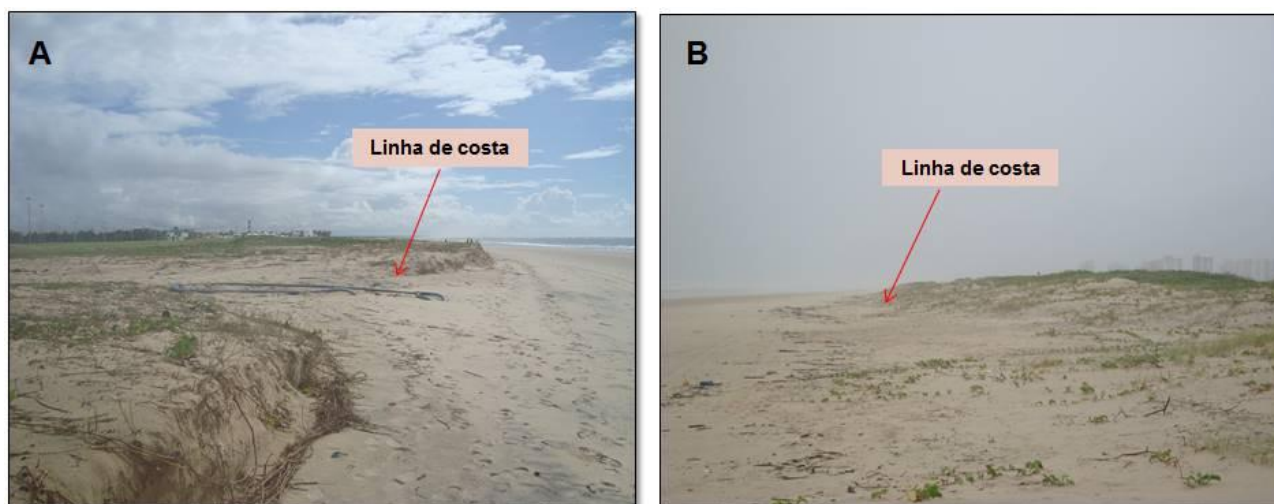


Figura 29. Mudanças na linha de costa (*coastline*) no perfil 6 no período analisado. (A) Em 2009: base da escarpa na duna frontal vegetada (visada pra Norte) e (B) em 2015: base da duna frontal vegetada (visada para Sul).

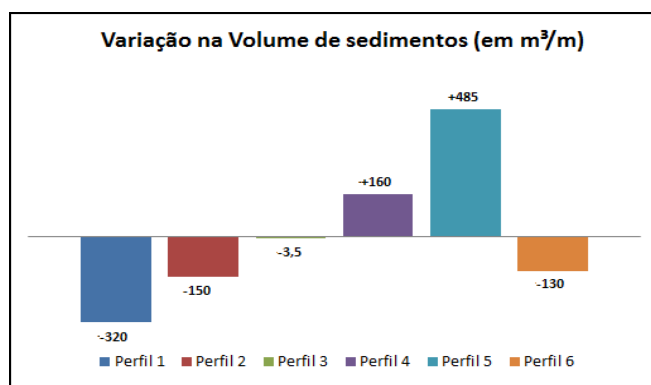


Figura 30. Variação no volume de sedimentos em cada perfil no período investigado. Para os perfis 1 e 2, os períodos de levantamento de campo foram de outubro de 2008 a janeiro de 2013 e de outubro de 2008 a fevereiro de 2014, respectivamente. Para os demais perfis, os levantamentos foram realizados para o período de outubro de 2008 a julho de 2015.

Tabela 1. Variação no volume de sedimentos em cada período analisado. Os valores estão expressos em m³/m (metros cúbicos por metro linear de linha de costa).

| Período<br>Perfil | Variação no volume de sedimentos (m³/m) |               |               |               |               |               |               |               |
|-------------------|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                   | 2008-<br>2009                           | 2009-<br>2010 | 2010-<br>2011 | 2011-<br>2012 | 2012-<br>2013 | 2013-<br>2014 | 2014-<br>2015 | 2008-<br>2015 |
| 1                 | - 60                                    | -1,00         | -177          | -38           | --            | --            | --            | <b>-320*</b>  |
| 2                 | +180                                    | -328          | -88           | +22           | +142          | --            | --            | <b>-150**</b> |
| 3                 | +97                                     | -150          | -40           | -11           | +15           | +19           | +161          | <b>-3,5</b>   |
| 4                 | +110                                    | -121          | +86           | +40           | -25           | -48           | +189          | <b>+160</b>   |
| 5                 | +128                                    | -33           | +80           | +273          | -101          | +329          | +56           | <b>+485</b>   |
| 6                 | -79                                     | -242          | -92           | +132          | +131          | +35           | -52           | <b>-130</b>   |

(\*) cálculo realizado para o período de outubro de 2008 a janeiro de 2013, (\*\*) cálculo realizado para o período de outubro de 2008 a fevereiro de 2014 e (--) ausência de dados (vide item 4.2).

## 5.2 Taxa de variação da linha de preamar máxima a curto prazo e faixas de proteção (*setback*)

As imagens de satélite mostraram que, a linha de preamar máxima (LPM) no perfil 1 recuou 75 m de 2009 a 2015. Nos perfis 2, 3 e 4, a LPM recuou 100, 70 e 45 m de 2009 a 2011, respectivamente, permaneceu praticamente estável de 2011 a 2013 e avançou 50, 50 e 25 m de 2013 a 2015, respectivamente. No perfil 5, a LPM permaneceu praticamente estável no período de 2009 a 2013 e avançou 90 m de 2013 a 2015. No perfil 6, a LPM recuou 42 m de 2009 a 2011 e avançou 35 m de 2011 a 2015 (Figura 31). A taxa de variação da LPM no período investigado foi negativa nos perfis 1, 2, 3 e 6, positiva no perfil 5 e zero no perfil 4 (Tabela 2).

Por outro lado, a taxa de variação da LPM extraída de dados de perfis de praia, no período de 2008 a 2015, foi negativa nos perfis 1, 2, 3 e 6 e positiva nos perfis 4 e 5 (Tabela 2, Figura 32). A LPM variou significativamente em todos os perfis conforme mostra a Figura 26, na qual os dados intermediários estão dispersos em relação à reta que une os pontos do EPR.

A taxa de variação da LPM encontrada em alguns perfis das praias estudadas é um pouco alta comparada com outras localidades. Na literatura, em geral, a taxa foi inferior a 10 m/ano, tanto para recuo quanto avanço (Dolan *et al.* 1978, Smith & Zarillo 1990, Dolan *et al.* 1991, Crowell *et al.* 1993, Forbes & Liverman 1996, Galgano Jr 2008, Mazzer & Dillenburg 2009, Absalonsen & Dean 2011). Com algumas exceções, como nos trabalhos de Souza & Luna (2010) e Macedo *et al.* (2012), as taxas de variação da LPM foram superiores a 10 m/ano. Forbes & Liverman (1996) afirmaram que taxas mais altas que 10 m/ano são encontradas em costas baixas como na Nigéria e China.

A tabela 2 mostra a comparação entre os dados de taxa de variação da LPM extraídos das imagens de satélite e dos perfis de praia. As taxas de variação da LPM apresentaram valores na ordem de poucos metros a poucas dezenas de metros (< 20 m/ano) tanto para avanço quanto recuo.

As diferenças nos resultados a partir dos dois procedimentos que utilizaram o método EPR consistiram em: (i) maior precisão dos dados extraídos dos perfis de praia, conforme dito por diversos autores (Smith & Zarillo 1991); (ii) baixa precisão dos resultados a partir das imagens de satélite, pois não foi utilizado o *Digital Shoreline*



*Analysis* (Thieler *et al.* 2005). No entanto, as diferenças mostradas não invalidam as análises mostradas nesse trabalho.

No entanto, a análise por imagens permitiu uma melhor visualização espacial e contínua da configuração da linha de preamar máxima, diferentemente dos perfis que mostraram apenas dados pontuais. A imagem de satélite documentou, ainda, o avanço da LPM ocorrido no perfil 2, entre 2013 e 2015, descrito no item 5.1 (p. 32) e na figura 16E.

Tabela 2. Comparação entre os dados de taxa de variação da linha de preamar máxima (LPM) obtidos a partir de imagens de satélite e perfis de praia.

|          | Imagens de satélite (2009-2015) | Perfis de praia (2008-2015) |
|----------|---------------------------------|-----------------------------|
| Perfil 1 | - 13 m/ano                      | - 11 m/ano                  |
| Perfil 2 | - 8 m/ano                       | - 5 m/ano                   |
| Perfil 3 | - 6 m/ano                       | - 0,5 m/ano                 |
| Perfil 4 | 0                               | + 1 m/ano                   |
| Perfil 5 | + 18 m/ano                      | + 15 m/ano                  |
| Perfil 6 | - 3 m/ano                       | - 12 m/ano                  |

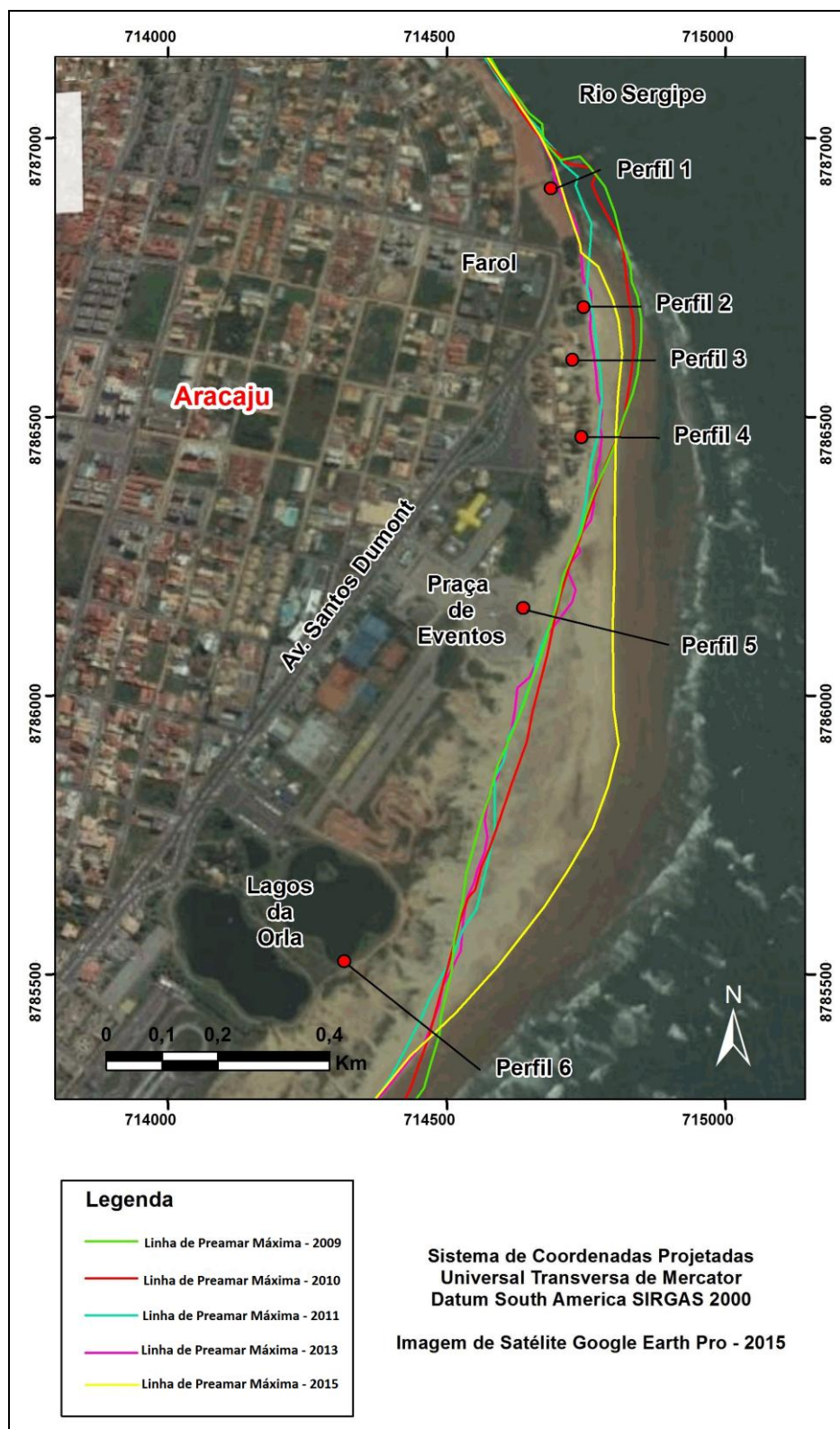


Figura 31. Comportamento da linha de preamar máxima nas praias contíguas à desembocadura do rio Sergipe, Aracaju, Sergipe no período de 2009 a 2015. Fonte: Imagem de satélite do *Google Earth Pro* do ano de 2015.

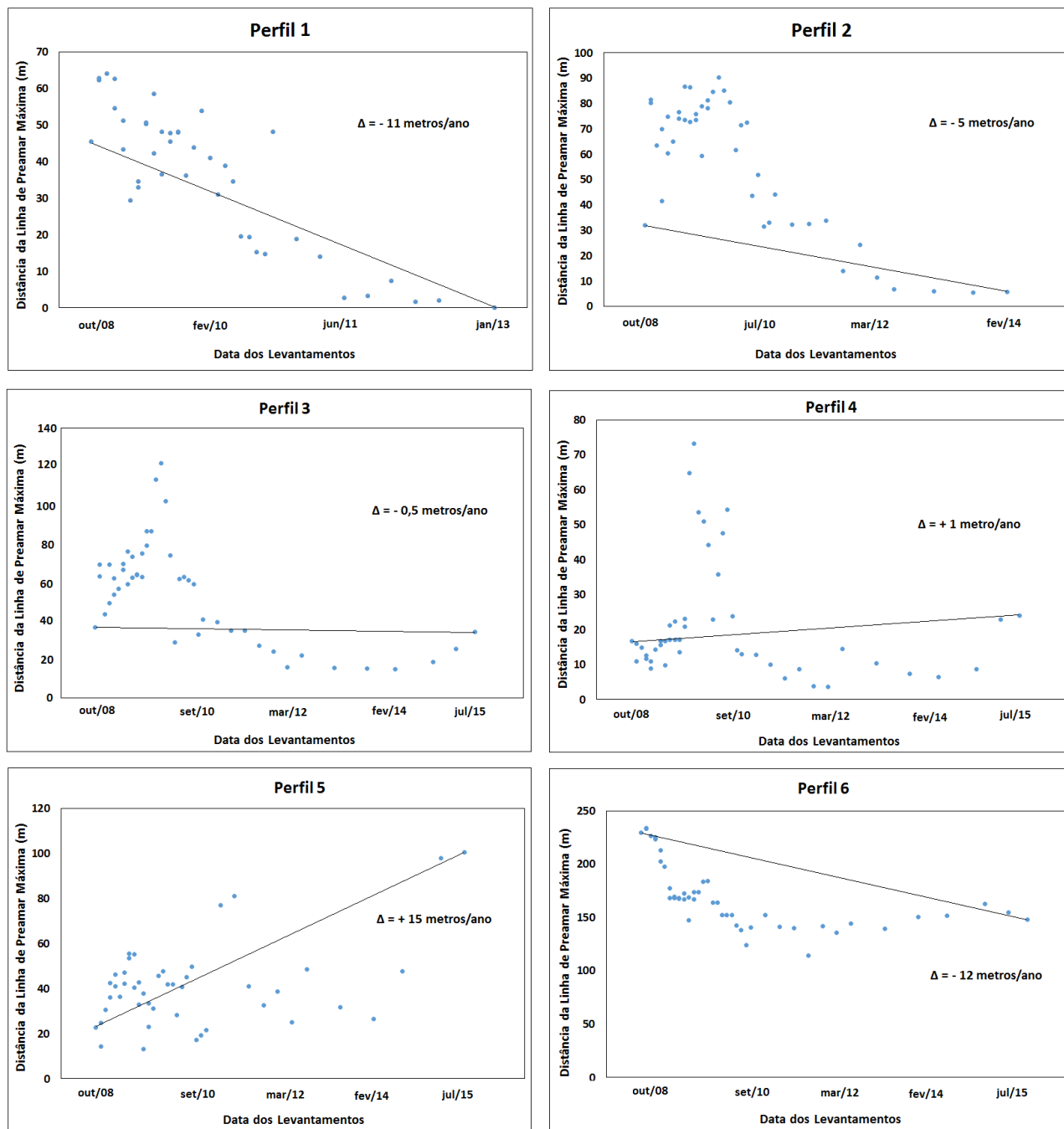


Figura 32. Séries temporais de mudanças na configuração da linha preamar máxima (*high tide shoreline*) – LPM, nos 6 perfis levantados nas praias dos Artistas e da Atalaia, Aracaju, SE. Os gráficos foram elaborados para os períodos de outubro de 2008 a janeiro de 2013 e de outubro de 2008 a fevereiro de 2014, para os perfis 1 e 2, respectivamente. Para os demais perfis, os gráficos foram elaborados para o período de outubro de 2008 a julho de 2015. A reta conecta os pontos iniciais e finais utilizados no cálculo da taxa de variação da LPM pelo método EPR descrito por Dolan *et al.* (1991). Os demais pontos representam as medições da LPM obtidos nos períodos intermediários e foram plotados apenas para mostrar a grande variabilidade dessa linha nos perfis no decorrer do tempo.

Os valores de faixa de proteção obtidos para construções leves variaram de cerca de 10 a 360 m e para construções pesadas, de cerca de 20 a 730 m (Tabela 3). Dessa forma, a largura da faixa de proteção sugerida para a área investigada foi de 360 m para construções leves (Figura 33A) e de 730 m para construções pesadas (Figura 33B). Esses valores de faixa de proteção estão acima daqueles estipulados no Decreto de Lei 9.760, de 33 m (Freitas 2011), em outros países e no projeto Orla (Muehe 2004, p. 19).

Tabela 3. Valores de faixas de proteção calculadas para cada perfil a partir das taxas de recuo da linha de preamar máxima no período de 2008 a 2015.

|             | Construções Leves | Construções Pesadas |
|-------------|-------------------|---------------------|
| Perfil 1*   | 320 m             | 640 m               |
| Perfil 2**  | 148 m             | 300 m               |
| Perfil 3    | 10 m              | 20 m                |
| Perfil 4*** | -                 | -                   |
| Perfil 5*** | -                 | -                   |
| Perfil 6    | 360 m             | 730 m               |

\*Período de análise: 2008 a 2013, \*\* Período de análise: 2008-2014, \*\*\*Faixas de proteção não foram calculadas, pois a taxa de variação da LPM foi positiva.

As faixas de proteção são estabelecidas como medida preventiva à construção de estruturas antrópicas em regiões sob erosão costeira (Muehe 2004). No entanto, em áreas já ocupadas, como na área investigada, podem ocorrer dificuldades de implementação de faixas de proteção superiores a 300 m (Figura 33A). Porém, a faixa de proteção deve ser levada em consideração, principalmente, na instalação de novas estruturas antrópicas.

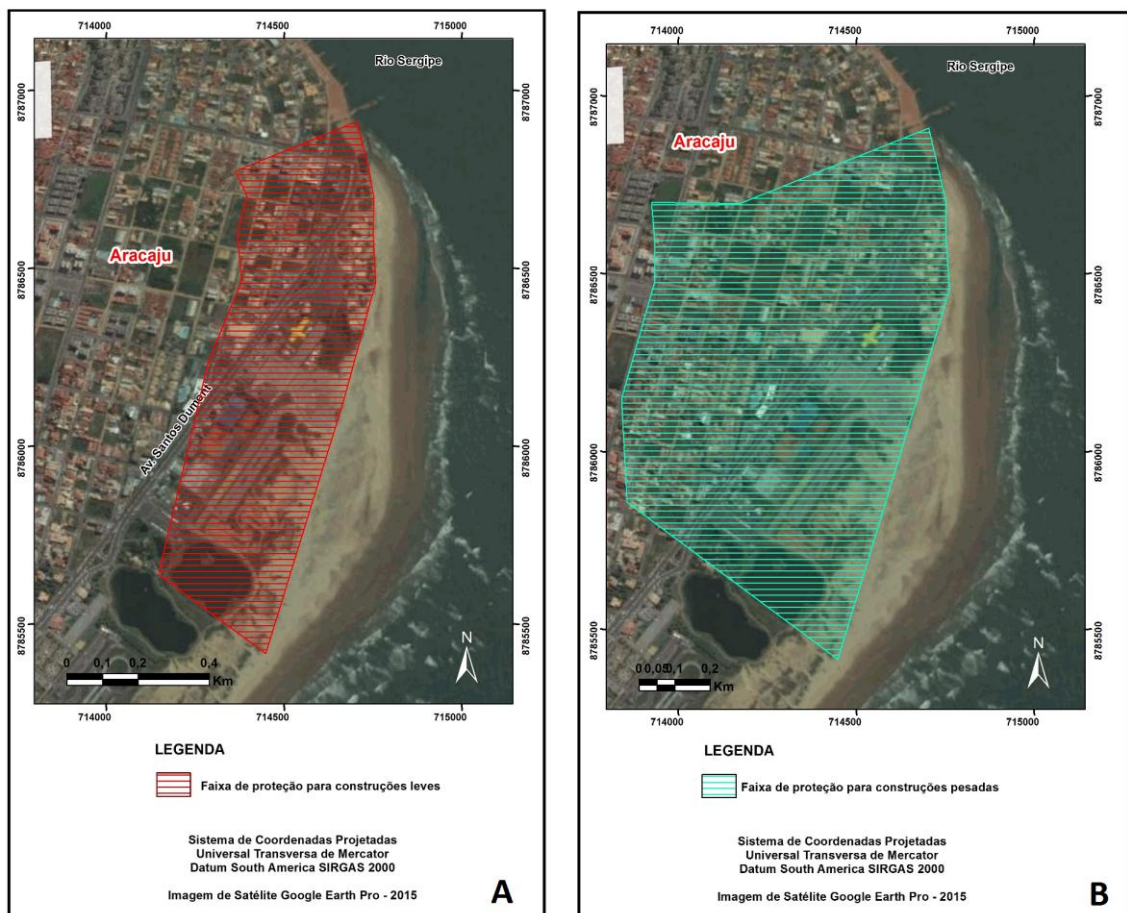


Figura 33. Faixa de proteção (*setback*) para construções leves (A) e para construções pesadas (B) proposta nesse trabalho. Observe que essas faixas recobrem áreas ocupadas. Nesse caso, sugere-se apenas não construir mais nessas áreas. Fonte da imagem: Imagem de satélite do *Google Earth Pro* do ano de 2015.

Adicionalmente, Muehe (2004) salienta a importância de estabelecimento de faixas de proteção nas proximidades de rios que não possuam estruturas de contenção à erosão. O rio Sergipe apresenta tais estruturas, porém, é possível notar que essas estruturas não estão recebendo a manutenção necessária (Figura 34).





Figura 34. Afundamento do aterro atrás do enrocamento de rochas no perfil 1 em 2014. Fonte da imagem: acervo de projeto de pesquisa.

### 5.3 Características dos sedimentos: textura e composição

No período investigado, do total das amostras analisadas em todos os perfis: (i) 32 a 52% foram classificadas como areia fina, (ii) 27 a 46% como areia média, (iii) 3 a 24% como areia muito fina, e (iv) 10% a ausente como areia grossa (Figura 35).

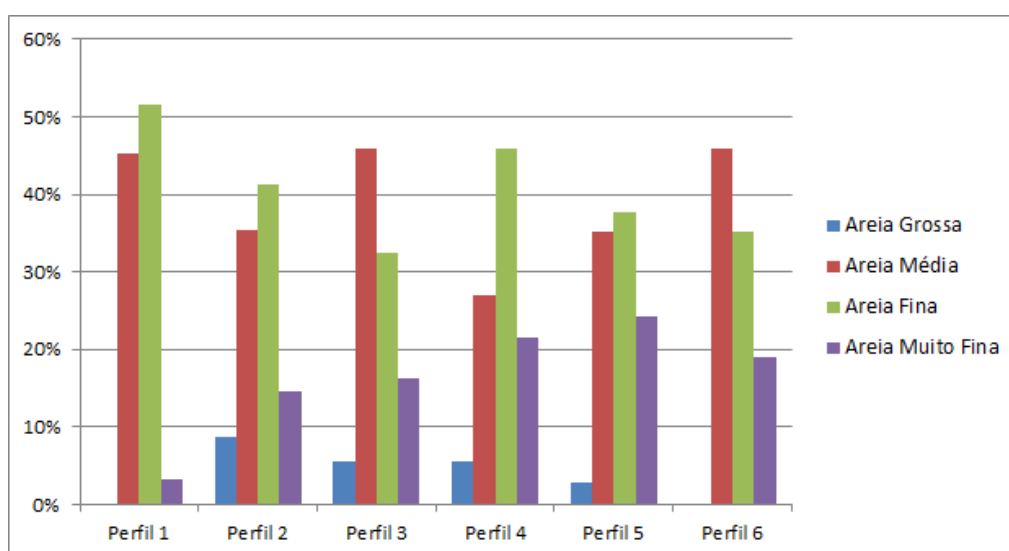


Figura 35. Tamanho médio dos grãos dos sedimentos nos perfis levantados na praia contígua à margem direita da desembocadura do rio Sergipe. O gráfico foi elaborado para os períodos de outubro de 2008 a janeiro de 2013 e de outubro de 2008 a fevereiro de 2014, para os perfis 1 e 2, respectivamente. Para os demais perfis, o gráfico foi elaborado para o período de outubro de 2008 a julho de 2015.

Quanto ao selecionamento, os sedimentos foram classificados, predominantemente, como moderadamente selecionados (76 a 94%). Apenas 6 a 22% das amostras de sedimentos foram classificadas como pobremente selecionadas e 3 a 11% como bem selecionadas (Figura 36).

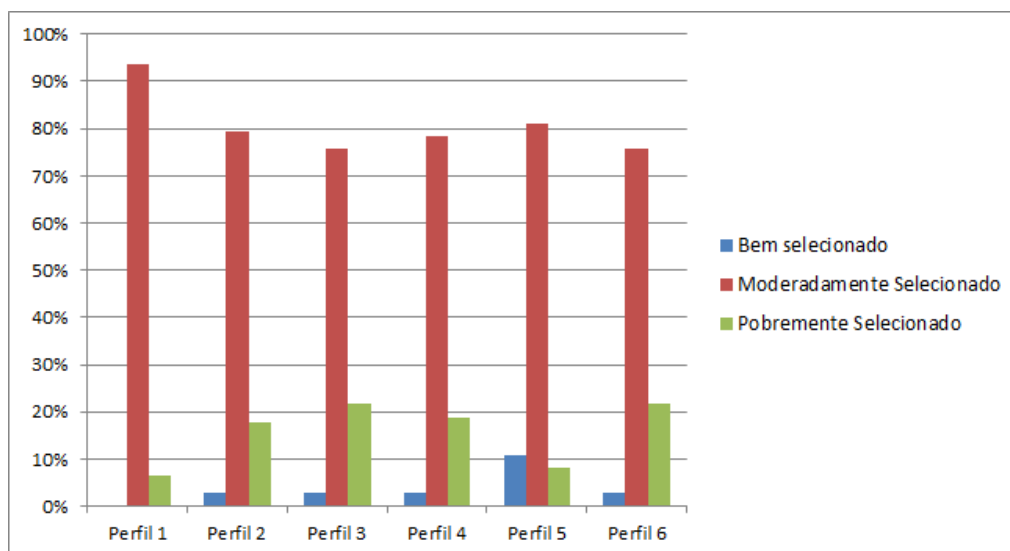


Figura 36. Selecionamento dos sedimentos nos perfis levantados na praia contígua à margem direita da desembocadura do rio Sergipe. O gráfico foi elaborado para os períodos de outubro de 2008 a janeiro de 2013 e de outubro de 2008 a fevereiro de 2014, para os perfis 1 e 2, respectivamente. Para os demais perfis, o gráfico foi elaborado para o período de outubro de 2008 a julho de 2015.

Conforme mencionado no item 4.6 do capítulo “Materiais e Métodos”, para análise da composição dos sedimentos foram utilizadas as amostras coletadas de 1 em 1 km, em dois períodos (verão seco e inverno chuvoso), na praia dos Artistas e em toda a extensão da praia de Atalaia (Am-1 a Am-4). E para análise de minerais pesados foi utilizada apenas a amostra Am-M coletada na praia dos Artistas.

Os sedimentos das praias investigadas são compostos por mais de 95% de grãos de quartzo, raros minerais máficos, K-feldspatos e bioclastos (Figura 37). No entanto, a amostra do inverno chuvoso da praia dos Artistas (Am-1) apresentou maior concentração de minerais máficos na sua fração mais fina (14%).

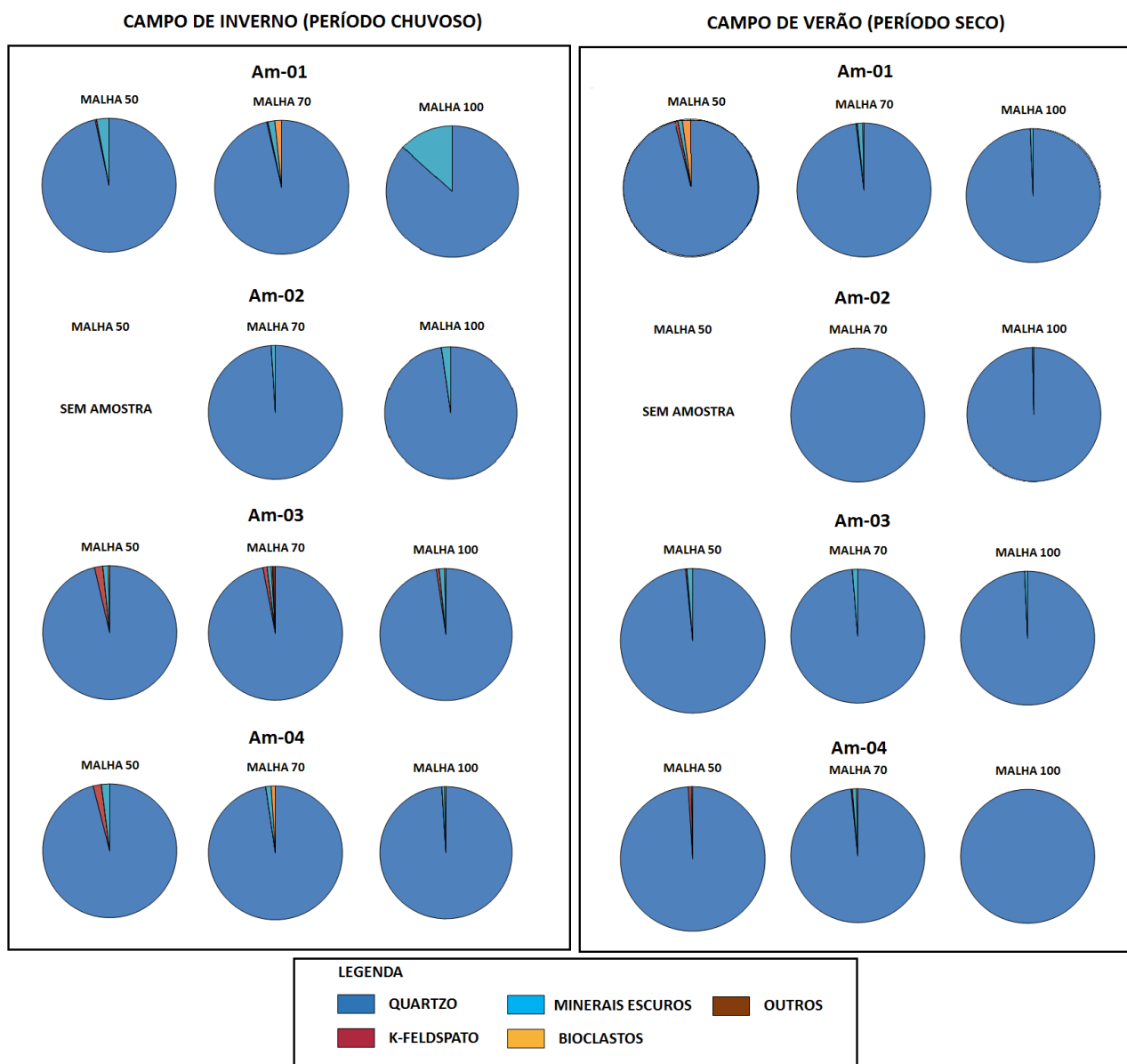


Figura 37. Gráfico com a composição mineralógica (em percentual) dos sedimentos das praias dos Artistas e da Atalaia nos trabalhos de campo de agosto de 2012 (inverno chuvoso) e de fevereiro de 2013 (verão seco).

Os minerais pesados encontrados nos sedimentos da praia dos Artistas (Am-M) foram, predominantemente, ilmenita (58,8%), zircão (30%) e rutilo/anatásio (4,61%). Os demais minerais pesados ocorrem em quantidades muito pequenas, perfazendo um percentual total de menos de 7%, a saber: almandina/estauroлита (1,46%), andalusita/silimanita/cianita (1,53%), hematita (1,17%), monazita (0,80%), xenotímio (0,58%), olivina (faialita) (0,36%), espinélio (0,22%), cordierita (0,22%) e titanita (0,30%) (Figuras 38 e 39). A análise por MEV não permitiu distinguir os seguintes polimorfos: rutilo e/ou



anatásio, bem como, os minerais aluminossilicáticos, andalusita e/ou silimanita e/ou cianita e, ainda, a almandina e/ou estaurolita.

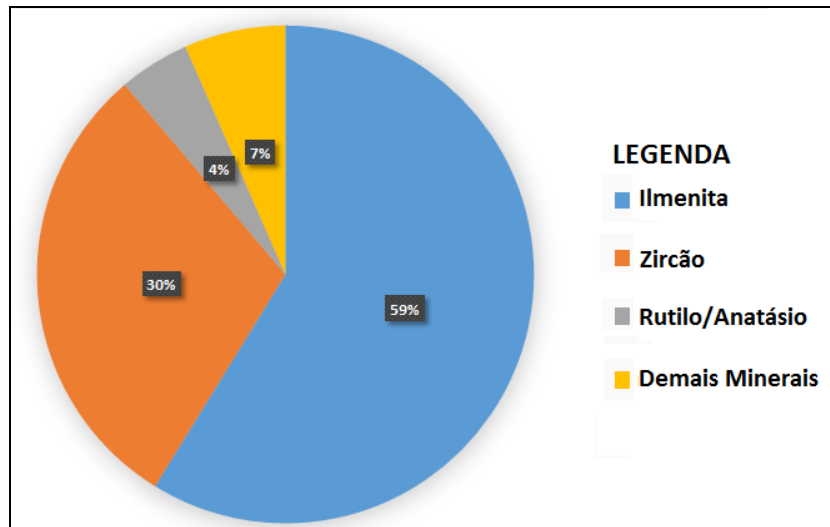


Figura 38. Gráfico com o percentual dos minerais pesados presentes nos sedimentos da praia dos Artistas, obtidos a partir da análise no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

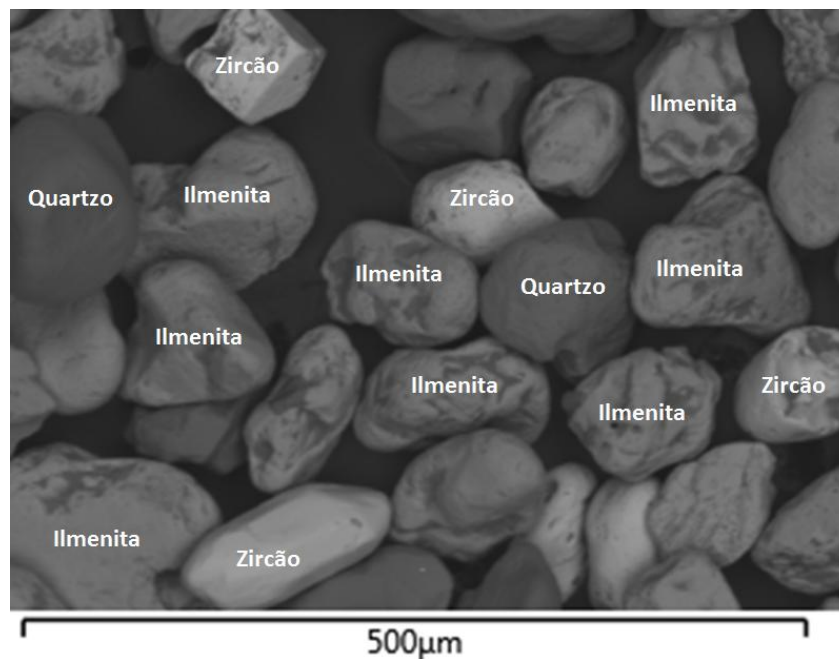


Figura 39. Imagem de alguns minerais pesados encontrados nos sedimentos da praia dos Artistas (Am-M). A obtenção da imagem foi feita a partir da microscopia eletrônica de varredura (MEV) utilizando o detector EDS.

#### **5.4 Possíveis causas das variações morfológicas e da linha de costa das praias dos Artistas e Atalaia**

As possíveis causas da grande variabilidade da praia e linha de costa da área investigada serão abordadas nesse item. No entanto, conforme dito por Forbes & Liverman (1996), pode ser difícil isolar essa(s) causa(s) em um determinado local e, desta forma, uma única causa não será atribuída nesse trabalho.

Estudos realizados na costa do estado de Sergipe mostraram que o litoral apresenta uma tendência de progradação a longo prazo devido ao aporte sedimentar do rio São Francisco e do abaixamento do nível do mar (Dominguez & Bittencourt 1996). A análise da linha de costa a médio prazo realizada nas vizinhanças da desembocadura do rio Sergipe por Oliveira (2003), Bittencourt *et al.* (2006), Rodrigues (2008) e Rodrigues *et al.* (2015) mostraram que as possíveis causas das variações morfológicas e da linha de costa estão relacionadas com a dinâmica do rio Sergipe e do seu delta de maré vazante. Adicionalmente, essas modificações estão associadas aos padrões de refração das ondas que alteram a dispersão dos sedimentos ao longo da costa (Dominguez & Bittencourt 1996, Oliveira 2003, Rodrigues 2014).

O processo erosivo na área investigada, observado pela comparação de imagens aéreas multitemporais, migrou no sentido NE para SW (Rodrigues *et al.* 2015). Esse mesmo comportamento foi observado nesse estudo, com dados de perfis de praia. Bird (2008) atribuiu esse tipo de processo erosivo a movimentação de lóbulos praias (*beach lobes*) em desembocaduras fluviais associados à fortes correntes longitudinais, processo que pode ocorrer na área de estudo (Rodrigues *et al.*, 2010).

No presente trabalho foi verificado que, mesmo tendo as suas margens fixadas, a dinâmica do canal do rio Sergipe continua influenciando a morfologia da praia e da linha de costa. Sem a presença do enrocamento de rochas, a linha de costa no perfil 1 teria recuado de tal maneira que atingiria as estruturas antrópicas posicionadas na sua retaguarda, causando danos sócio-econômicos.

Nesse mesmo perfil, a formação de correntes de retorno próximas ao enrocamento de rochas pode ter sido a causa da formação de uma escarpa erosiva em forma de meio círculo (Figura 40). Essa feição associada às correntes de retorno foi mostrada por Pereira *et al.* (2003) como a causa da erosão das praias adjacentes aos molhes de fixação de desembocadura do rio Mampituba/SC.



Figura 40. Escarpa erosiva circular formada na face de praia do perfil 1 em agosto de 2009 (visada pra Sul) e em setembro de 2010 (visada para Norte). Fonte: acervo de projeto de pesquisa.

A sequência de fotos mostradas nas figuras 41 e 42 ilustra as modificações ocorridas no perfil 1 no período de 2009 a 2015. Conforme dito no item 4.1, nos anos de 2009 e 2010, a praia possuía um pós-praia largo e o enrocamento de rochas encontrava-se recoberto por sedimentos (Figuras 41A, 41B e 42A e 42B). Um expressivo evento erosivo iniciou em 2011 (Figuras 41C e 42C). Esse processo erosivo favoreceu o desaparecimento da praia em 2013 (Figuras 41D, 41E e 41F e Figuras 42D e 42E). No entanto, no mês de dezembro de 2015, a praia reapareceu naturalmente (Figura 42F). Isso contradiz o processo de erosão e o desaparecimento de praias, defrontes a estruturas de contenção, associados à reflexão de ondas conforme explicitado por Bird (2008). Esse fato demonstra a capacidade de recuperação natural das praias investigadas.

Outros pontos das praias estudadas também apresentaram recuperação natural após erosão severa. Entre os anos de 2009 e 2010, após a erosão

ocorrida em 2007 e 2008, a praia entre os perfis 4 e 5 se recuperou naturalmente (Andrade *et al.* 2010) e se tornou larga, com presença de bermas e dunas frontais. Após a erosão ocorrida em 2012, que destruiu parte da estrutura externa do bar, a praia no perfil 4 apresentou indícios de recuperação, com presença de pós-praia e escarpa inativa.

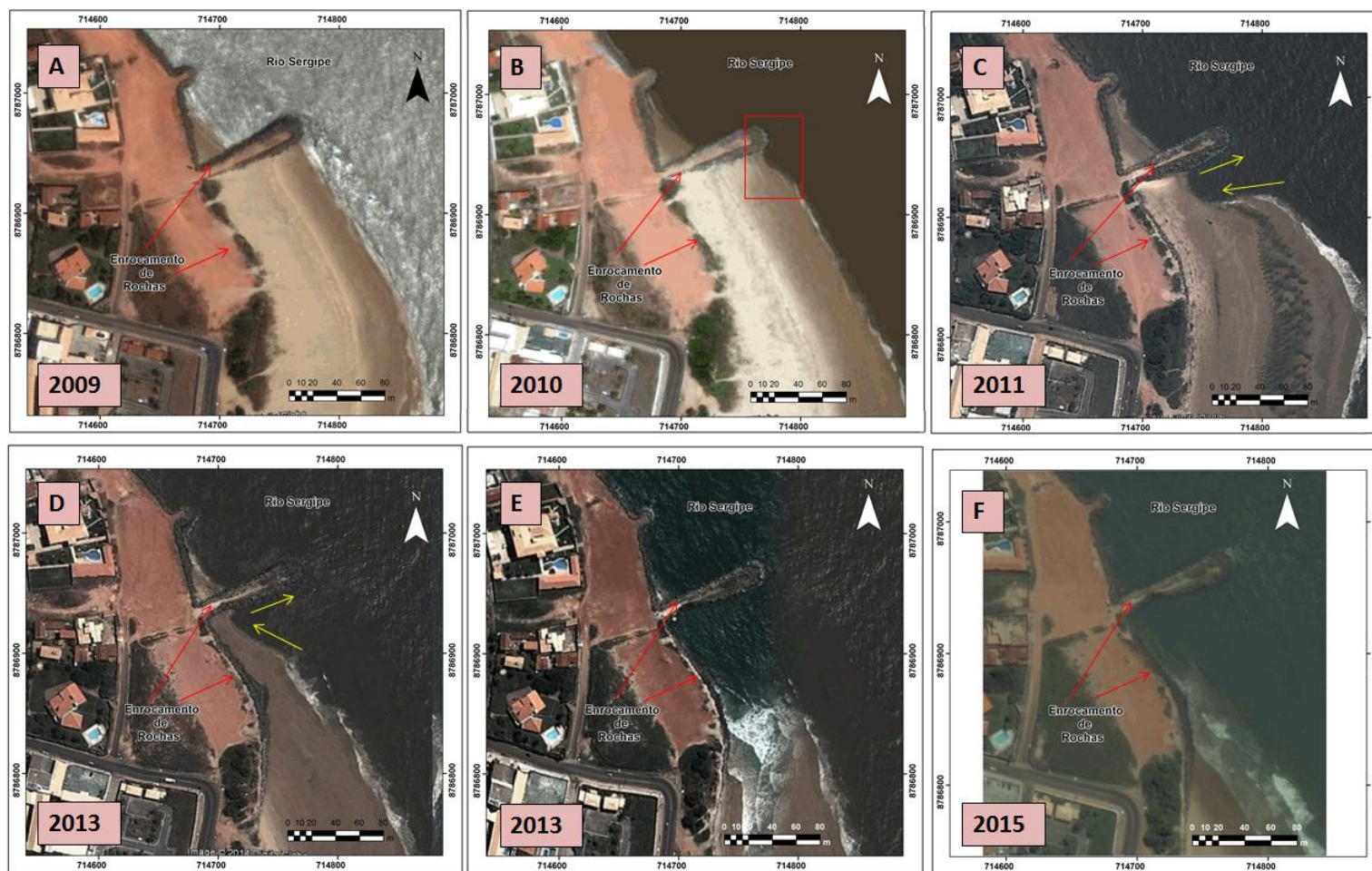


Figura 41. Mudanças morfológicas na região adjacente ao enrocamento de rochas da praia dos Artistas. Praia larga em 2009 (A), Praia larga e início da geração da feição erosiva circular em 2010 (quadrícula em vermelho) (B), feição circular bem desenvolvida em 2011, (C), Recuo da feição erosiva circular em 2013 (D), ausência de praia em 2013 (E) e em 2015(F). As setas em amarelo indicam a corrente de retorno gerada nas proximidades do enrocamento de rochas. Fonte das imagens: imagens de satélite do *Google Earth Pro*.



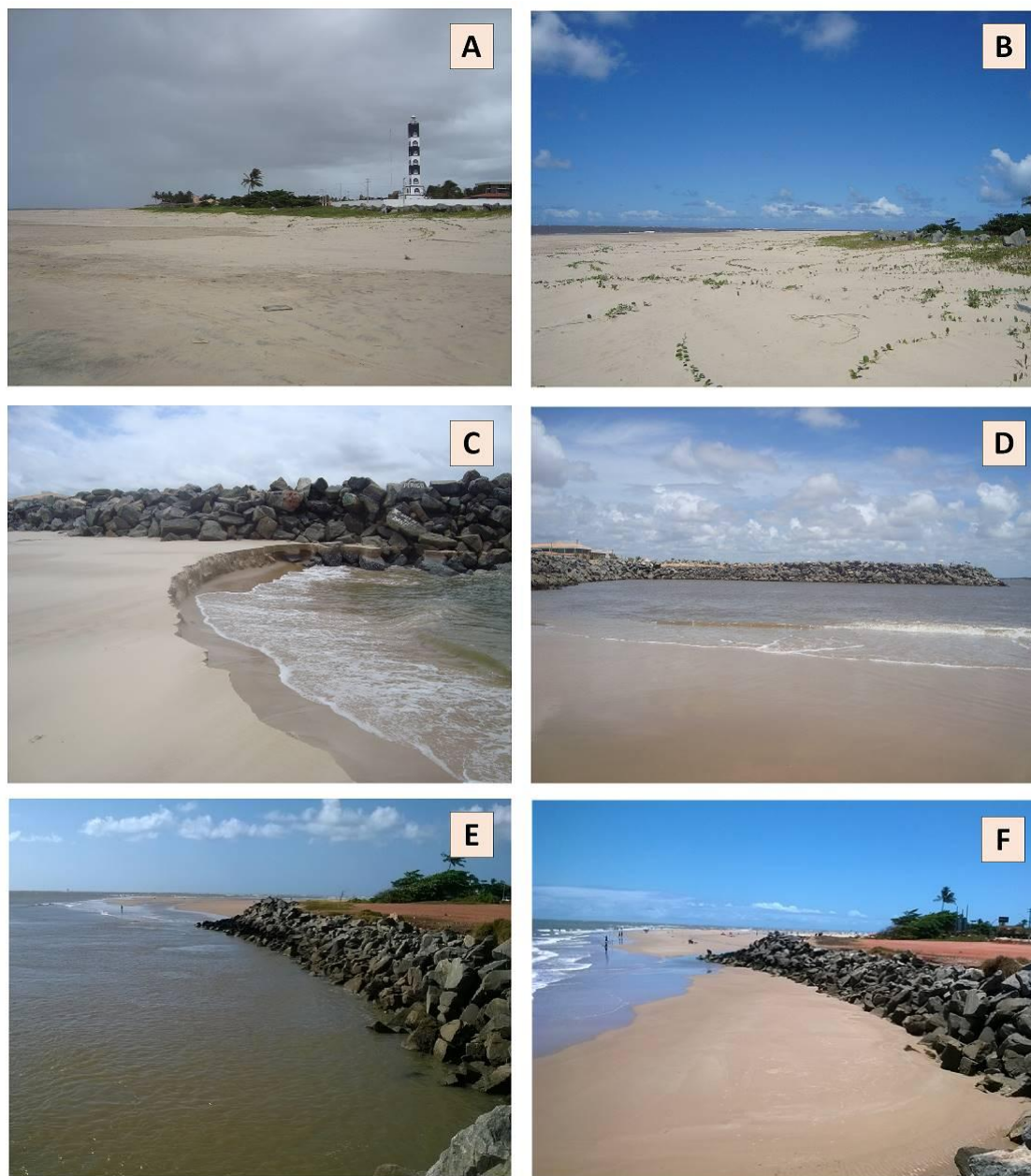


Figura 42. Modificações morfológicas da praia no perfil 1: (A) pós-praia “lavado” em 2009, (B) praia larga com o enrocamento de rochas recoberto por sedimentos retrabalhados pelo vento em 2009, (C) escarpa na face de praia em 2010, (D) ausência de praia em 2011, (E) indício de recuperação natural da praia (pequena profundidade da água próxima ao enrocamento de rochas) em setembro de 2015, e (F) recuperação natural da praia em dezembro de 2015. Todas as fotos foram tiradas na maré baixa de sizígia. Fonte: acervo de projeto de pesquisa.

## **CAPÍTULO 6**

### **6 Considerações Finais**

Os aspectos morfológicos das praias em todos os perfis variaram consideravelmente no período de 2008 a 2015, ora mostrando feições deposicionais (bermas, praia seca larga, etc.), ora apresentando feições erosivas (escarpas, face de praia aplainada, ausência de praia seca, etc.).

Apesar das tendências à erosão ou deposição, a LPM, em todos os perfis, também variou significativamente, não seguindo uma tendência linear de avanço ou recuo. No entanto, ao se analisar o período completo (2008-2015), percebeu-se que nos perfis 1, 2 e 6 prevaleceram processos erosivos e, a LPM e a LC recuaram. No perfil 5 prevaleceram processos deposicionais e, a LPM e a LC avançaram. No perfil 3 prevaleceu processo erosivo e recuo da LPM, porém, a LC não foi afetada. No perfil 4 prevaleceu deposição e a LPM avançou. Porém, nesse último perfil, a LC foi atingida por um evento erosivo ocorrido em 2012 e recuou.

As taxas de recuo da LPM, de até 13 m/ano, permitiram o estabelecimento de duas faixas de proteção: de 360 m para construções leves e de 730 m para construções pesadas. Essas faixas devem ser respeitadas para novos empreendimentos, a fim de se evitar possíveis danos sócio-econômicos caso ocorram futuros eventos erosivos. Entretanto, cabe salientar que o estabelecimento das faixas de proteção deve ser variável no tempo, sendo modificada a partir da aquisição de novos dados de pesquisas sistemáticas (geológicas, geomorfológicas e oceanográficas) na zona costeira.

As causas das variações morfológicas da praia e da linha de costa são diversas, e apenas uma única não pode ser atribuída para a área investigada. Mesmo tendo as suas margens fixadas com estruturas de contenção, a dinâmica do canal do rio Sergipe e do delta de maré vazante continua influenciando na dispersão de sedimentos ao longo da costa. Sem a presença do enrocamento de rochas, a linha de costa no perfil 1 teria recuado e as estruturas antrópicas posicionadas na sua retaguarda teriam sido afetadas. Nesse mesmo perfil, a formação de correntes de retorno próximas ao enrocamento de rochas pode ter sido a causa do desaparecimento da praia no período de 2013 a 2015.

Esse trabalho mostrou, ainda, o poder de recuperação natural das praias estudadas, mesmo na ausência da intervenção de novas estruturas de contenção à erosão costeira. Por outro lado, o processo erosivo, da mesma forma que o ocorrido entre 2007 e 2008, pode ser interrompido, deslocado para outro setor ou ocorrer novamente daqui a algum tempo no mesmo setor. Dessa forma, a ocupação humana próxima à linha de costa deve ser evitada, pois é normal a praia se deslocar tanto para o continente, quanto para o oceano, principalmente nas vizinhanças de desembocaduras fluviais.

Os sedimentos que compõem as praias investigadas são de granulometria areia média, moderadamente selecionados e de composição, predominantemente, quartzosa. O conteúdo de minerais pesados nos sedimentos é baixo e são compostos, essencialmente, por ilmenita, zircão e rutilo. O conhecimento das características texturais e composicionais dos sedimentos e do volume de sedimentos erodido da praia é essencial em projetos futuros de recuperação artificial com alimentação de sedimentos.

Esse trabalho forneceu uma sólida documentação das mudanças morfológicas da praia e da linha de costa em curto prazo. Para fins de planejamento costeiro é importante também se considerar a documentação das mudanças em outras escalas de tempo (médio e longo prazo). A continuação do monitoramento dessas praias é necessária, pois a tendência atual não deverá se manter por muito tempo, por se tratar de uma área bastante instável.

A análise conjunta dos dados de perfis de praia e de dados climatológicos (precipitação pluviométrica, etc) e oceanográficos, em trabalhos futuros, permitirá ou não associar os processos de erosão ou deposição ocorridos ao longo do período investigado (2009 a 2015) a eventos meteorológicos, como *El Niño* e *La Niña*. O reaparecimento da praia no Perfil 1 pode estar associado a atuação do forte *El Niño* verificado em 2015.

Adicionalmente, as praias são ambientes naturalmente vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas, a exemplo da elevação do nível médio do mar, das mudanças



no ângulo de aproximação de ondas e/ou da intensificação das tempestades previstos devido ao aquecimento global. Entretanto, aparentemente, a Prefeitura de Aracaju, com a construção da Arena Multi-Uso e outras estruturas fixas nas praias investigadas, não está levando em consideração a sua alta variabilidade morfológica, nem as previsões futuras decorrentes das mudanças climáticas globais. Dessa forma, esse trabalho pode auxiliar no planejamento urbano e ambiental da área estudada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Absalonsen L., Dean R.G. 2011. Characteristics of the shoreline change along Florida sandy beaches with an example for Palm Beach County. *Journal of Coastal Research*, **27**(6A): 16-26.
- Almeida F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, **7**(4):349-364.
- ANA. 2000. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/cd1/parte1.htm>. Acesso em 18/01/2016.
- Andrade A.C.S., Santos G.C., Oliveira L.S., Siqueira J.E.O., Rodrigues T.K., Lavenère-Wanderley A.A.O., Nascimento F.M. 2010. Recuperação natural do ambiente praias: o exemplo da Orlinha da Coroa do Meio - Aracaju - SE. *In: IV Congresso Brasileiro de Oceanografia*. Rio Grande, *Anais*, p. 864 -866.
- Anfuso G., Gracia F.J. 2005. Morphodynamic characteristics and short-term evolution of a coastal sector in SW Spain: implications for coastal erosion management. *Journal of Coastal Research*, **SI39**: 776-782.
- Bastos A.C., Silva C.G. 2000. Caracterização morfodinâmica do litoral Norte Fluminense, RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Oceanografia*, **48**(1): 41-60.
- Bevanente J., Anfuso G., Del Rio L., Gracia F.J., Reyes J.L. 2006. Evolutive trends of nourished beaches in SW Spain. *Journal of Coastal Research*, **SI39**: 765-769.
- Bird E. 2008. Coastal geomorphology: an introduction. New York: John Wiley & Sons. 436 p.
- Bittencourt A.C.S.P., Martin L., Dominguez J.M.L., Ferreira Y.A. 1983. Evolução paleogeográfica quaternária da costa do Estado de Sergipe e da costa sul do estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Geociências*, **13**(2): 93-97.
- Bittencourt A.C.S.P. 1992. A questão da predominância ou não de valores negativos de assimetria das distribuições granulométricas para os depósitos da face da praia - Uma polêmica revisitada. *Revista Brasileira de Geociências*, **22**(1): 104-111.

- Bittencourt A.C.S.P., Dominguez J.M.L., Oliveira M.B. 2006. Sergipe. In: D. MUEHE (org.) Erosão e progradação do litoral brasileiro, Brasília, Ministério do Meio Ambiente. p.213-218.
- Boak E.H., Turner I.L. 2005. Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research*, **21**(4): 688-703.
- Bush D.M., Neal W.J., Young R.S., Pilkey O.H. 1999. Utilization of Geoindicators for Rapid Assessment of Coastal-Hazard Risk and Mitigation. *Ocean & Coastal Management*, **42**: 647-670.
- Calliari L.J., Muehe D., Hoefel F.G., Toldo Jr. E.E. 2003. Morfodinâmica praial: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Oceanografia*, **50**: 63-78.
- Camargo M.G. 2006. Sysgran: um sistema de código aberto para análises granulométricas de sedimentos. *Revista Brasileira de Geociências*, **36**(2): 371-378.
- Clark J.R. 1995. Coastal zone management handbook. Boca Ranton: Lewis Publishers. 695p.
- Costa M.B.S.F., Pontes P.M., Araújo T.C.M. 2008. Monitoramento da linha de preamar das praias de Olinda-PE (Brasil) como ferramenta à gestão costeira. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, **8**(2): 101-112.
- Crowell M., Leatherman S.P., Buckley M.E. 1991. Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*, **7**(3): 839-852.
- Dawson J.L., Smithers S.G. 2010. Shoreline and beach volume change between 1967 and 2007 at Raisne Island, Great Barrier Reef, Australia. *Global and Planetary Change*, **72**: 141-154.
- DEA&DP (Department of Environmental Affairs & Development Planning). 2010. Development of a Methodology for Defining and Adopting Coastal Development Setback Lines – volume 1. WSP Africa Coastal Engineers (Pty). 81p.
- DHN. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Tábuas de Maré. Marinha do Brasil. Disponível em: <http://www.dhn.br>. Acesso em: 18/01/2016.
- Dolan R., Hayden B.P., May, P. May, S.K. 1980. The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs. *Shore and Beach*, **48**(4): 22-29.

- Dolan R., Fenster M.S., Holme S.J. 1990. Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, **7**(3): 723-744.
- Dominguez J.M.L., Bittencourt A.C.S.P. 1996. Regional assessment of long-term trends of coastal erosion in northeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **68**(3): 355-371.
- Douglas B.C., Crowell M. 2000. Long-term shoreline position prediction and error propagation. *Journal of Coastal Research*, **16**(1): 145-152.
- Eitner V. 1996. The effect of sedimentary texture on beach fill longevity. *Journal of Coastal Research*, **17**: 292-296.
- Emery K.O. 1961. A simple method of measuring beach profiles. *Limnology and Oceanography*, **6**: 90-93.
- Emery K.O. 1978. Grain size in laminae of beach sand. *Journal of Sedimentary Petrology*, **48**: 1203-1212.
- Esteves L.S., Dillenburg S.R., Toldo Jr. E.E. 2006. Alongshore patterns of shoreline movements in southern Brasil. *Journal of Coastal Research*, **39**: 215-219.
- Esteves L.S., William J.J., Nock A., Lymbery G. 2009. Quantifying shoreline changes along the Sefton coast (UK) and the implications for research-informed coastal management. *Journal of Coastal Research*, **S156**: 602-606
- Everts C.H., Eldon C.D., Moore J. 2002. Performance of cobble berms in southern California. *Shore and Beach*, **70**(4): 5-14.
- Farris A.S., J.H. List. 2007. Shoreline change as a proxy for subaerial beach volume change. *Journal of Coastal Research*, **23**(3): 740-748.
- Folk R.L., Ward W.C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, **27**: 3-26.
- Forbes D.L., Liverman D.G.E. 1996. Geological indicators in coastal zone. In: Berger A.N., Iams W.J. (eds.) *Geoindicators: Assessing rapid environmental changes in Earth systems*. Rotterdam: A.A. Balkema, p. 173-192.
- Freitas M.A.P. 2011. Zona Costeira: Aspectos Jurídicos. Curitiba: Editora Juruá. 232.p

Genz A.S., Fletcher C.H., Dunn R.A., Frazer N., Rooney J.J. 2007. The Predictive Accuracy of Shoreline Change Rate Methods and Alongshore Beach Variation on Maui, Hawaii. *Journal of Coastal Research*, **23**(1): 87-105.

Guedes R.M.C, Calliari L.J., Pereira, P.S. 2009. Morfodinâmica da praia e zona de arrebentação do Cassino, RS através de técnicas de vídeo imageamento e perfis de praia. *Pesquisas em Geociências*, **36**(2): 165-180.

Hallermeier R.J. 1981. A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate. *Coastal Engineering*, **4**: 253--277

Honeycutt M.G., Crowell M, Douglas B.C. 2001. Shoreline-Position Forecasting: Impact of Storms, Rate-Calculation Methodologies, and Temporal Scales. *Journal of Coastal Research*, **17**(3): 721-730.

Hooke J. M., Bray M. J., Carter D. J. 1996. Sediment transport analysis as a component of coastal management – a UK example. *Environmental Geology*, **27**: 347-357.

Horn D.P., Mason T. 1994. Swash zone sediment transport method. *Marine Geology*, **120**: 309-325.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em 18/12/2015.

Jesus L.V., Andrade A.C.S. 2011. Erosão da praia próxima ao espigão da Coroa do Meio – Aracaju – SE. In: Anais do XXIV Simpósio de Geologia do Nordeste Aracaju: J.Andrade. p. 176.

Jesus L.V., Andrade A.C.S., Lavenere-Wanderley A.A.O., Nascimento F.M., Paixão T.F.S., Feitosa R T., Santos J.P.S. 2014a. Caracterização morfossedimentar das praias dos Artistas e da Atalaia Velha, Aracaju, Sergipe, NE do Brasil. In: VI Congresso Brasileiro de Oceanografia, 2014, Itajaí/SC. Anais. p. 1445-1446.

Jesus L.V., Paixão T.F.S., Feitosa R.T., Santos J.P.S., Andrade A.C.S. 2014b. Balanço Sedimentar e Mudanças na Linha de Costa das Praias dos Artistas e Atalaia Velha - Aracaju/SE no período de 2008 a 2014. In: 47º Congresso Brasileiro de Geologia, 2014, Salvador/BA, Anais. p. 79.

- Johnson J.W. 1949. Scale effects in hydraulic models involving wave motion. *American Geophysical Union*, **30**(4): 517-525.
- Komar P.D. 1998. Beach processes and sedimentation. Englewood Cliffs, Nova Jersey: Prentice-Hall, 544p.
- Larson M. 1988. Quantification of beach profile changes. Report No 1008. Department of Water Resources engineering, Institute of Science and technology, University of Lund, Lund, Sweden.
- Leatherman S. 2003. Shoreline change mapping and management along the U.S. East Coast. *Journal of Coastal Research*, **SI(38)**:5- 3.
- Macedo R.J.A., Manso V.A.V., Pereira N.S., França L.G. 2012. Transporte de sedimentos e variação da linha de costa em curto prazo na praia de Maracaípe (PE), Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, **12**(3): 343-355.
- Marino M.T.R.D., Freire G.S.S., Horn Filho, N. O. 2013. Variações granulométricas ao longo da costa da região metropolitana de Fortaleza, Ceará, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, **13**(3): 267-282.
- Mazzer A.M., Dillenburg S. 2009. Variações temporais da linha de costa em praias arenosas dominadas por ondas do sudoeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brasil). *Pesquisas em Geociências*, **36**(1): 117-135.
- Moore L.J. 2000. Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, **16**(1): 111-114.
- Morton R.A. 1996. Geoindicators of coastal wetlands and shorelines. In: Berger, A.R. & Iams, W.J. (eds.) *Assessing Rapid Environmental Geoindicators Changes in Earth Systems*. Rotterdam: A. A. Balkema, p. 207-230.
- Morton R.A. 1991. Accurate shoreline mapping: past, present and future. *Coastal Sediments' 91*, pp:997-1010.
- MTur. Ministério do Turismo. 2013. Turismo investe em orla de Aracaju. Disponível em: <http://www.turismo.gov.br/ultimas-noticias/1992-turismo-investe-em-orla-de-aracaju.html>. Site acessado em: 18/01/2016.

- Muehe D. 2001. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da Orla Costeira para fins de gerenciamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, **2**(1): 35-44.
- Muehe D. 2004. Definição de limites e tipologias da orla sob os aspectos morfodinâmico e evolutivo. *In: Projeto Orla – Subsídios para um Projeto de Gestão*. Brasília: MMA e MPO. p: 11-30.
- Muehe D., Roso R.H., Savi D.C. 2003. Avaliação de método expedito de determinação do nível do mar como *datum* vertical para amarração de perfis de praia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, **4**(1):53-57.
- Muehe D., Klum-Oliveira L. 2014. Deslocamento da linha de costa *versus* mobilidade praial. *Quaternary and Environmental Geosciences*, **5**(2):121-124
- Nielsen P. 1984. Field measurements of time-averaged suspended concentrations under waves. *Coastal Engineering*, **8**: 51-72.
- Nordstrom K.F. 2010. Recuperação de praias e dunas. [Tradução por Silvia Helena Gonçalves]. 1ª Ed.\_São Paulo. Editora: Oficina de Textos. 263p.
- Oliveira A.O., Calliari L.J. 2006. Morfodinâmica da Praia do Mar Grosso, São José do Norte/RS. *Gravel*, **4**: 23-36.
- Oliveira M.B. 2003. Caracterização integrada da linha de costa do Estado de Sergipe – Brasil. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 102 p.
- Oliveira U.R., Barletta R.C., Peixoto J.R.V., Horn Filho N.O. 2009. Características morfodinâmicas da praia do Pântano do Sul, Ilha de Santa Catarina, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, **36**(3): 237-250.
- Pajak M.J., Leatherman S.P. 2002. The high water line as shoreline indicator. *Journal of Coastal Research*, **18**(2): 329-337.
- Pereira P.S., Calliari L.J., Lélis R.J.F., Figueiredo S.A. 2003. Riscos associados ao banho de mar e sua relação com a heterogeneidade morfodinâmica das praias do Rio Grande do Sul, Brasil: Projeto Segurança nas Praias. *Anais do IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, II Congresso sobre Planejamento e Gestão das*

*Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, II Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibéricas.*

Pianca C., Mazzini P.L., Siegle E. 2010. Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis. Brazilian. *Journal of Oceanography*, **58**(1): 53-70.

Rodrigues T.K. 2008. Análise das Mudanças da Linha de Costa das Principais Desembocaduras do Estado de Sergipe, com Ênfase no Rio Sergipe. MS Dissertation. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 79p.

Rodrigues T.K. 2014. Impactos das Mudanças Climáticas na Zona Costeira do município de Aracaju-SE: Estudo de Caso Utilizando o SMC (Sistema de Modelagem Costeira). DT Thesis. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 121p.

Rodrigues T.K., Pereira D.A.S., Feitosa E.S.S., Jesus L.V., Silva M.G., Andrade A.C.S., Dominguez J.M.L., Lavenere-Wanderley A.A.O. 2015a. Comportamento da linha de costa e ocupação humana na Atalaia Velha e no Mosqueiro, Aracaju, SE. *Scientia Plena*, **11**: 1-6.

Rodrigues T.K., Jesus L.V., Silva M.G., Pereira D.A.S., Feitosa E.S.S., Andrade A.C.S., Dominguez J.M.L., Lavenere-Wanderley A.A.O. 2015b. Deltas de Maré Vazante e Erosão Costeira na Atalaia Velha e no Mosqueiro, Aracaju (SE) no período de 1965 a 2008. *Scientia Plena*, **11**: 1-7.

Santos G.C., Andrade A.C.S. 2013. Evolução da paisagem costeira da Coroa do Meio e Atalaia – Aracaju-SE. *Scientia Plena*, **9**:1-7.

Santos R.A., Martins A.A.M., Neves J.P.N., Leal R.A. (eds.). 2001. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB. Geologia e recursos minerais do Estado de Sergipe. Escala 1:250.000. Texto explicativo do Mapa geológico do Estado de Sergipe: Brasília, CPRM/DIEDIG/DEPAT, CODISE, 61p.

SEMARH. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. [http://sirhse.semarh.se.gov.br/sirhse/index.php/macroplanejamento/bacias\\_hidrograficas/estadoClima/estado](http://sirhse.semarh.se.gov.br/sirhse/index.php/macroplanejamento/bacias_hidrograficas/estadoClima/estado). Site acessado em: 09/08/2015.

Short A.D. 1999. Wave-Dominated beaches. In: Short, A.D. (Ed.). *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. Chichester. p. 173-203.



Short A.D., Hesp, P. 1982. Wave, beach and dune interactions southeastern Australia. *Marine Geology*, **48**: 259-284.

Silva A.L.C., Silva M.A.M, Santos C.L. 2008. Comportamento morfológico e sedimentar da praia de Itaipuaçu (Maricá, RJ) nas últimas três décadas. *Revista Brasileira de Geociências*, **38**(1): 87-97.

Silva G.M., Hesp P. 2010. Coastline orientation, aeolian sediment transport and foredune and dunefield dynamics of Moçambique Beach, Southern Brazil. *Geomorphology*, **120**: 258-278.

Silva M.G. 2014. Geoindicadores de erosão e acumulação das praias do município de Aracaju – Sergipe. MS Dissertation, Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 71p.

Souza M.C., Ângulo R.J. 2003. Decadal and interannual variations of coastline and beach volumes in Itapoá (Santa Catarina, Brazil). *Journal of Coastal Research*, **S135**: 202-208.

Souza C.R.G. 2009. A Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, **9**(1): 17-37.

Souza C.R.G., Souza Filho P.W.M., Esteves S.L., Vital H., Dillenburg S.R., Patchineelam S.M., Addad J.E. 2005. Praias Arenosas e Erosão Costeira. In: Souza C.R.G., Suguio K., Oliveira A.M.S., Oliveira P.E. (Eds.) *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos, Editora, p.130-152.

Souza C.R.G., Luna G.C. 2010. Variação da linha de costa e balanço sedimentar de longo período em praias sob risco muito alto de erosão do município de Caraguatatuba (Litoral Norte de São Paulo, Brasil). *Revista da Gestão Costeira Integrada*, **10**(2): 179-199.

Smith G., Zarillo G. 1990. Calculating long-term shoreline recession rates using aerial photographic and beach profiling techniques. *Journal of Coastal Research*, **18**(3): 502-513.

SRH. Superintendência de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.semarnh.se.gov.br/srh>. Acesso em 18/12/2015.

- Stive M.J.F., Aarninkhof S.G.J., Hamm L., Hanson H., Larson M., Wijnberg K.M., Nicholls R.J., Capobianco M. 2002. Variability of shore and shoreline evolution. *Coastal Engineering*, **47**: 211-235.
- Terich T.A. 1987. Living with the shore of Puget Sound and Georgia Strait. Duke University Press, Durham, National Audubon Society, 165 p.
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., Miller, T.L. 2005. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 3.0: An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2005-1304. Disponível em: <http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/>
- Trindade J. 2010. Monitorização e análise de indicadores da dinâmica de praias expostas. Núcleo de investigação em Sistemas Litorais e Fluviais: Dinâmicas, mudanças ambientais e ordenamento de território SLIF-7. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa. 120p.
- Vieira M. 2008. Maré alta destrói mais áreas da praça de eventos da orla: calçada e estacionamento são os mais atingidos pela ressaca do mar. *Jornal da Cidade*, Aracaju, 25 jan. Caderno B. p. 2.
- Villwock J.A., Lessa G.C., Suguio K., Angulo R.J., Dillenburg S.R. 2005. Geologia e Geomorfologia de regiões costeiras. In: Souza C.R.G., Suguio K., Oliveira A.M.S., Oliveira P.E. (Eds.) *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos, Editora. p. 94-113.
- Wanderley L.L. 2006. Paisagem na janela: esse nosso inconstante rio Sergipe e a evolução de sua Foza. In: Alves J.PH. (Org.). *Rio Sergipe: importância, vulnerabilidade e preservação*. Aracaju-SE: Ós Editora. p: 167-194.